

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Hodnocení drsnosti povrchu po obrábění

Evaluation of surface roughness after machining

Student:

Bc. Julie Sýkorová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Julie Sýkorová

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Specializace:

20 Strojírenská technologie

Téma:

Hodnocení drsnosti povrchu po obrábění
Evaluation of Surface Roughness after Machining

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky drsnosti povrchu.
2. Parametry drsnosti povrchu.
3. Návrh experimentální části práce.
4. Provedení experimentu a měření.
5. Vyhodnocení měření a přínosů pro praxi.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007, s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
- [6] ZELENÝ, J. *Vysokorychlostní obrábění*. MM průmyslové spektrum. 2000. ISSN 1212-2572.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji své vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Mgr. Janě Petrů, Ph.D., za poskytnutí profesionální pomoci, znalostí a velké trpělivosti při zpracování mé diplomové práce.

V Ostravě, dne 18.5.2012

Bc. Julie Sýkorová

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. 5. 2012




Bc. Julie Sýkorová

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. 5. 2012



Bc. Julie Sýkorová

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Julie Sýkorová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zátor-Loučky 191, 793 16

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Sýkorová, J. *Hodnocení drsnosti povrchu po obrábění: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 74 s. Vedoucí práce: Petrů, J.

Tato diplomová práce je zaměřena na technologii obrábění, která dominuje v průmyslové praxi jako činitel výroby. V úvodu je popsán teoretický rozbor týkající se drsnosti povrchu.

V dnešní době narůstá tendence zmenšovat (miniaturizovat) součásti. Zde je velmi důležitá kvalita povrchu a ta je spjatá hlavně s technologií obrábění. Kvalita povrchu je charakterizována geometrií povrchu, fyzikálně-chemickými vlastnostmi povrchové vrstvy, zpevněním a fyzikálně-mechanickým stavem povrchu.

V této práci je řešeno do jaké míry a jak přesně ovlivňují parametry řezného procesu kvalitu povrchu. V závěru práce jsou uvedeny naměřené hodnoty, jejich vyhodnocení, které je zaneseno do grafů a následné posouzení těchto výsledků.

ANNOTATION OF DIPLOM THESIS

Sýkorová, J. *Evaluation of surface roughness after machining: diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 74 p. Supervizior: Petrů, J.

This diploma thesis is focused on the cutting technology, which dominates in industrial practice as a factor of production. In introduction this work is described the theoretical analysis of the surfases roughness.

Nowadays is increasing tendency minimalization of product. Here is very important quality of the surface and this is mainly associated with the technology of machining. The surface quality is characterized by the surface geometry, physico-chemical propeties of surface layer and physico-mechanical state of the surface.

This work is done to how exactly the cutting proces parameters affect the surface quality. In conclusion, there are listed the measured values, their evaluation, which entered the charts and follow-up assessment af these results.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ.....	9
ÚVOD.....	10
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY DRSNOSTI POVRCHU	11
1.1 Textura povrchu.....	11
1.2 Kvalitativní ukazatel kvality povrchu.....	13
1.2.1 Hodnocení kvality povrchu.....	14
1.3 Vlastnosti povrchu	16
1.4 Způsoby měření drsnosti povrchu	17
1.4.1 Měření drsnosti povrchu dotykovým profilometry	20
1.4.2 Bezdotyková metoda měření	22
1.4.3 Porovnávací metoda.....	23
1.4.4 Měření s využitím interference světla.....	24
2. PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU	25
2.1 Tvar a hodnocení povrchu	26
2.1.1 Parametry 2D	27
2.1.2 Parametry křivky materiálového poměru profilu	28
2.1.3 Fraktální analýza	29
2.1.4 Metoda 3D	31
2.1.5 Metoda „MOTIF“	31
2.2 Funkčnost plochy v závislosti na parametrech drsnosti.....	31
2.2.1 Těsnící schopnosti.....	31
2.2.2 Klínovitá nerovnost povrchu.....	32
2.2.3 Vazba mezi rozložením vrcholů, prohlubní a střední hodnotou	32
2.2.4 Vazba mezi povrchem a funkcí.....	33
Využití teoretických poznatků v praxi	33
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
3.1 Použitý stroj.....	34
3.2 Použité nástroje	36
3.3 Použité materiály pro vzorky.....	40
3.4 Řezné podmínky experimentu	41
3.5 Návrh měření parametrů drsnosti povrchu.....	44
3.5.1 Stanovení parametrů drsnosti povrchu	44
3.5.2 Nejistoty měření.....	50
3.5.3 Tabulky a grafy naměřených hodnot.....	52
Metoda plánovaného experimentu při pozorování vybraných parametrů procesu	65

Zhodnocení dosažených výsledků	66
4. ZÁVĚR	68
5. POUŽITÁ LITERATURA	69
Seznam obrázků.....	72
Seznam tabulek	73
Seznam grafů	74

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka/Symbol	Význam
a_p	hloubka řezu [mm]
v_f	rychlost posuvu [mm/min]
v_c	řezná rychlost [m/min]
u_A	standardní nejistota typu A [mm]
u_B	standardní nejistota typu B [mm]
u_C	kombinovaná standardní nejistota [mm]
u_{B1}	nejistota vlivu opěrné paty snímacího hrotu [mm]
u_{B2}	nejistota měřícího přístroje [mm]
$s(x)$	směrodatná odchylka [mm]
σ_{Pt}	pevnost v tahu [MPa]
z	počet břitů frézy [-]
Ap_1	maximální využitelná délka řezné části nástroje [mm]
D_1	řezný průměr nástroje [mm]
D	průměr stopky nástroje [mm]
L	celková délka nástroje [mm]
LS	použitelná délka stopky nástroje [mm]
Z_p	nejvyšší výstupek profilu [μm]
Z_v	nejnižší prohlubeň profilu [μm]
R_a	průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
R_z	největší výška profilu [μm]
R_t	celková výška profilu [μm]
R_p	největší výška profilu od střední čáry profilu [μm]
PVD	vícevrstvý povlak [-]
TiN	titan nitrid [-]
$TiCN$	titan karbon nitrid [-]
TiC	titan karbid [-]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace pod zatížením [MPa]
U_c	rozšířená standardní nejistota [μm]
$Z(x)$	hodnota pořadnic, tj. výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x
f_z	posuv na zub [mm]
l_n	vyhodnocovaná délka profilu [mm]
l_r	základní délka profilu [mm]
$\Lambda_c, \Lambda_f, \Lambda_s$	filtr profilu [-]

ÚVOD

Problematika jakosti povrchu součástí má stále větší význam, jelikož jde ruku v ruce s vývojem vědy a techniky. Drsnost povrchu velice úzce ovlivňuje plynulý a přesný chod součástí a také jejich hlučnost, elektrickou vodivost, přestup tepla, dobu záběhu, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi apod. Ve zkratce řečeno drsnost povrchu udává průběhy chemických a fyzikálních jevů, při činnosti funkčních povrchů součástí. Sledováním a hodnocením povrchu se snažíme zvýšit jakost povrchu a tím zvedli i efektivnost strojních součástí. Hodnocení textury povrchu je v metrologii jako samostatná oblast získávající potřebné údaje o integritě určitého povrchu. Úlohou této metrologické oblasti měření je získání parametrů povrchu. I když jsou parametry povrchu normovány, stále zle v této problematice pozorovat vývoj, zpřesnění a dokonce i doplňování těchto norem. Hlavním záměrem tohoto postupu je zajišťovat v co nejobjektivnější hodnocení povrchu a to hlavně ve vztahu k funkčnosti tohoto povrchu. Cílem je získat měřené parametry, které ale pouze naskýtají částečný pohled na některé vlastnosti povrchu.

Současným trendem je snižovat hmotnosti dynamicky namáhaných součástí, a to hlavně při extrémním zatížení. Výzkum a pozorování lomů u takto dynamicky namáhaných součástí se totiž zjistilo, že únavový lom vzniká většinou na povrchu nebo těsně pod povrchem součástí. Povrch a stav jeho mikrogeometrie je totiž prvotní činitel ovlivňující vznik koroze a následný únavový lom.

Také životnost a spolehlivost součástí, což je jedna z nejdůležitější a nejuvažovanějších věcí při výrobě součástí je závislá na drsnosti povrchu respektive mikrogeometrie povrchu.

Tato studie je rozdělena do dvou částí, a to na teoretickou a praktickou část. V první části je shrnuta teorie týkající se mikrogeometrie povrchu, hodnocení nerovností z mikroskopického hlediska tj. drsnosti povrchu. Dále je tato část věnována parametrům profilu povrchu. Také je zde popsáno možné způsoby měření integrity povrchu.

V experimentální části této diplomové práce je provedeno měření drsnosti povrchu vzorků, jejichž povrch je obroben pěti a šestizubou frézou za různých podmínek. Pomocí tohoto experimentu se vyhodnotí parametry drsnosti v závislosti na aspektech působících v procesu obrábění daného povrchu.

Závěr této práce zhodnocuje výsledky experimentů. [1]

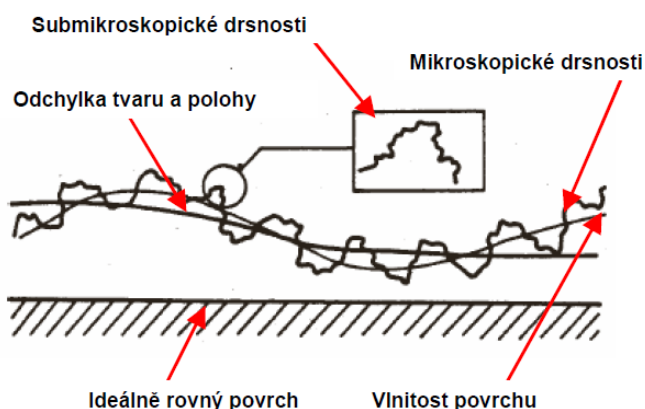
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY DRSNOSTI POVRCHU

Rozvoj vědy a techniky tlačí problematiku jakosti povrchu součásti dopředu. Kvalita součásti ve velké míře ovlivňuje jak životnost součásti, tak její spolehlivost a funkčnost. Na těchto aspektech závisí hlučnost, elektrická vodivost, přesnost chodu, přestup tepla, ztráty třením, dobu záběhu, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi nebo také únavová pevnost těchto komponentů. [1]

Po obrobení součástí vzniká na povrchu reliéf, který je nositelem určitých dílčích informací, ale také nositelem obrazu jeho tvorby technologií. Hodnocením parametrů drsnosti lze předurčit sled operací vedoucích k získání finální požadované kvality povrchové vrstvy a zároveň optimalizovat nebo zdokonalit i proces jeho tvorby. [2]

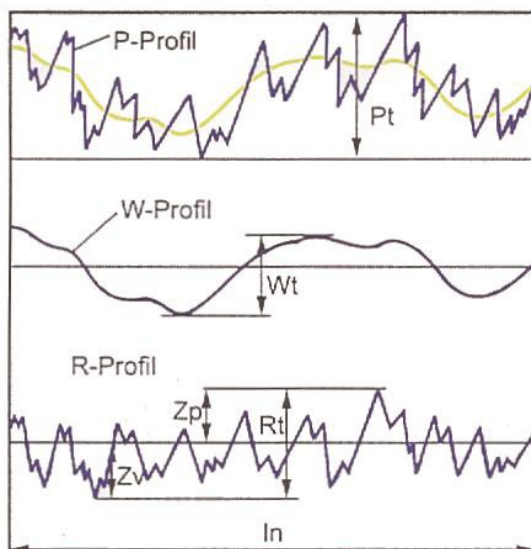
1.1 TEXTURA POVRCHU

Na vytváření obráběné plochy bez poruch má vliv dokonalá znalost materiálu vhodně použitá technologie obrábění a vhodných měřicích přístrojů. Teprve dokonalou znalostí těchto procesů docílíme dokonale obrobený povrch, tedy povrch beze změn (nedostatků). Vedle přesnosti rozměrů, tvaru, polohy má významný vliv textura. Textura povrchu má přímý vliv na únavové vlastnosti materiálu. Má také vliv na rychlost opotřebení, tedy přímo ovlivňuje životnost, spolehlivost a funkčnost součástky. [7]



Obrázek 1 Schéma znázornění geometrie povrchu (8)

Reálný povrch je tvořen kombinací drsnosti, vlnitosti a úchylek tvaru.



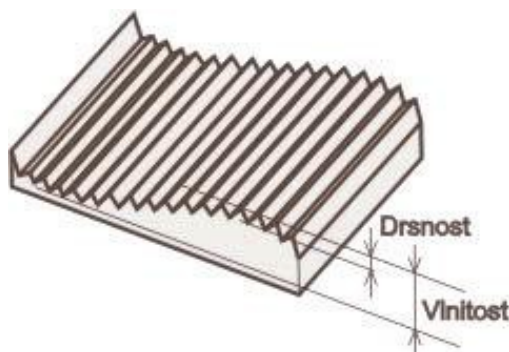
Obrázek 2 Základní parametry hodnocení povrchu (9)

VLNITOST (Základní parametr W)

Jedná se o větší nerovnosti. Je způsobena kmitáním nebo deformací obrobku, tedy prací obráběcího stroje – špatného seřízení, špatné vyvážení apod.

DRSNOST




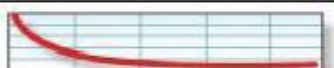










Je to nerovnost povrchu vznikající v procesu výroby a je důsledkem dokončování nikoli prací obráběcího stroje.



Obrázek 3 Drsnost a vlnitost (8)

Záleží na uspořádání textury povrchu, velikosti mezer. Při jemném broušení docílíme nosný podíl povrchu 15-20% vyššího nosného podílu pak dosáhneme dalším zpracováním – leštěním, superfinišováním, lapováním, válečkováním, pro snížení vrcholků nerovností viz. tab.1. [1]

Tabulka 1 Druhy způsobů opracování (16)

Profily	R_t	R_a	$M_{rc=0,25}$	Abbottova křivka
	1	0,25	75%	
	1	0,25	15%	
	1	0,20	85%	
	1	0,20	20%	
	1	0,08	7%	
	1	0,20	25%	
	1	0,30	38%	

Hodnota nosného poměru by se měla dle výrobců těsnění pohybovat v rozmezí od 50% do 70%. Absolutně hladký povrch není žádoucí z hlediska mazání těsnění by se pohybovalo nasucho – v drobných prohlubních se zachycuje mazivo. Při velkém tření vzniká teplo a dochází k rychlejšímu opotřebení výrobku.

1.2 KVALITATIVNÍ UKAZATEL KVALITY POVRCHU

Výroba součásti vyžaduje splnění různých předpokladů všech možných oborů, které se na výrobu součásti podílejí. Velice důležitou roli zde hraje použitá technologie. Technologie totiž řeší výrobu součásti a stejně tak se zabývá její montáží a zkoušením. Dalším důležitým a nedílným aspektem je i kontrola a měření dodržování požadované přesnosti dílů. Pro měření se využívá spojení elektronických informací a řídicí výrobní techniky s metrologií a výrobními procesy do integrovaného systému. Výsledky měření pak neslouží jen ke korekci výrobního procesu, ale změna parametrů je postupně snímána a udržována stále v nastavených nebo optimalizovaných hranicích v odlišných fázích procesu.

Rostoucí požadavky na přesnost a lepší vlastnosti materiálu vedou ke spolehlivějšímu provozu. Tyto požadavky jsou velice důležité pro vývoj, jelikož se stále snaha zavádět minimalizaci výrobků i automatickou montáž. Větší přesnost umožňuje zjednodušovat konstrukci zařízení, ale také pomáhá ke snižování hlukosti výrobku za provozu. Zde je důležité zaměřit se taktéž na přesnější výrobu polotovarů. [3]

1.2.1 Hodnocení kvality povrchu

- 1) Kvalitu součásti sledujeme hlavně na těch plochách, které jsou vystaveny největšímu namáhání nebo hrají důležitou úlohu z hlediska funkce povrchu. Tyto plochy obvykle vznikají technologickými operacemi a to nejčastěji procesem obrábění. Z těchto důvodů je jakost povrchu hodnocena komplexně (přesnost rozměrů, geometrická přesnost a drsnost povrchu). Proces obrábění vytvářející nový profil součásti, působí na obráběnou součást fyzikálními, ale i chemickými účinky. Tento postup obrábění má takový vliv na obrobek, že se tímto procesem získá nový rozměr, tvar, drsnost povrchu, ale také se změny vlastností základního materiálu. Hlavní změny se uskutečňují v povrchové vrstvě a projevují se hlavně deformačním zpevněním ale i fázovými přeměnami. Při obrábění tedy často dochází k následným změnám:

- Rekrytalizace
- Makro a mikrotrhliny
- Plastická deformace
- Fázová transformace
- Změna mikrotvrdosti
- Zbytkové napětí

Tyto změny hlavně vznikají v důsledku mechanického a tepelného účinku řezného procesu.

- 2) Druhá skupina hodnocení povrchu obsahuje změny, týkající se povrchové vrstvy. Jde o hodnocení integrity povrchu. Toto hodnocení lze provést na základě četných experimentů a systematického hodnocení jak textury, tak i změn v povrchové vrstvě. Integritu povrchu můžeme hodnotit ve dvou stupních a to:
1. Základní údaje – drsnost povrchu, makro a mikrotrhliny, plastická deformace, fázová transformace, mikrotvrdost, zbytkové napětí.
 2. Kompletní hodnocení tzn. výše uvedené základní údaje ve vztahu k funkci výrobku. – mez únavy, odolnost proti korozi pod napětím, funkční spolehlivost, kluzní vlastnosti, tření, velikost stykové plochy, odolnost proti otěru apod. [3]

Integrita povrchu:

Integritou povrchu se zabývá podrobněji příslušná norma ANSI B211.1 1986. Integrita povrchu závisí na výrobních metodách a podmínkách obrábění, ovlivňující funkčnost povrchové vrstvy. Na integritě povrchu se tedy odráží podmínky, za kterých funkční plocha vzniká.

S technickým vývojem ruku v ruce stoupají nároky na kvalitu a produktivitu výroby. Jsou kladeny vysoké nároky na předepsaný tvar, rozměr. Integrita povrchu je dána vhodným využitím technologických metod na obráběný materiál a má bezprostřední vliv na jakost obráběné plochy. [1]

Integritu povrchu charakterizuje soubor charakteristik, popisující funkční vlastnosti povrchu součásti. K těmto charakteristikám řadíme [4]:

1. Topografie povrchu (geometrické charakteristiky povrchu)
2. Strukturní a fyzikálně-chemické změny v povrchové vrstvě
3. Stupeň, hloubka a charakter zpevnění
4. Smysl, velikost a průběh reziduálních pnutí

Nejdůležitějšími sledovanými kvalitativními ukazateli, podle nichž sledujeme kvalitu povrchu jsou:

- Makrogeometrie obrobené plochy
- Mikrogeometrie obrobeného povrchu
- Fyzikálně-mechanické změny v povrchové vrstvě (tvrdost, zpevnění, zbytkové pnutí pod obrobeným povrchem)
- Fyzikálně chemický stav povrchu

1.3 VLASTNOSTI POVRCHU

Pokud o povrchu uvažujeme jako o rozhraní dvou různých prostředí, je důležité se u kovových materiálů zabývat texturou a vlastnostmi povrchů vzniklých za rozličných podmínek. Struktura povrchu zahrnuje různé rozměry a to od atomů až po makroskopický popis. Pokud k tomuto tématu připojíme i hodnocení poruch, interakci povrchu s prostředím a vliv vnějších sil, je studium povrchu součástí širokou oblastí, ale lze k této problematice přistupovat z různých hledisek.

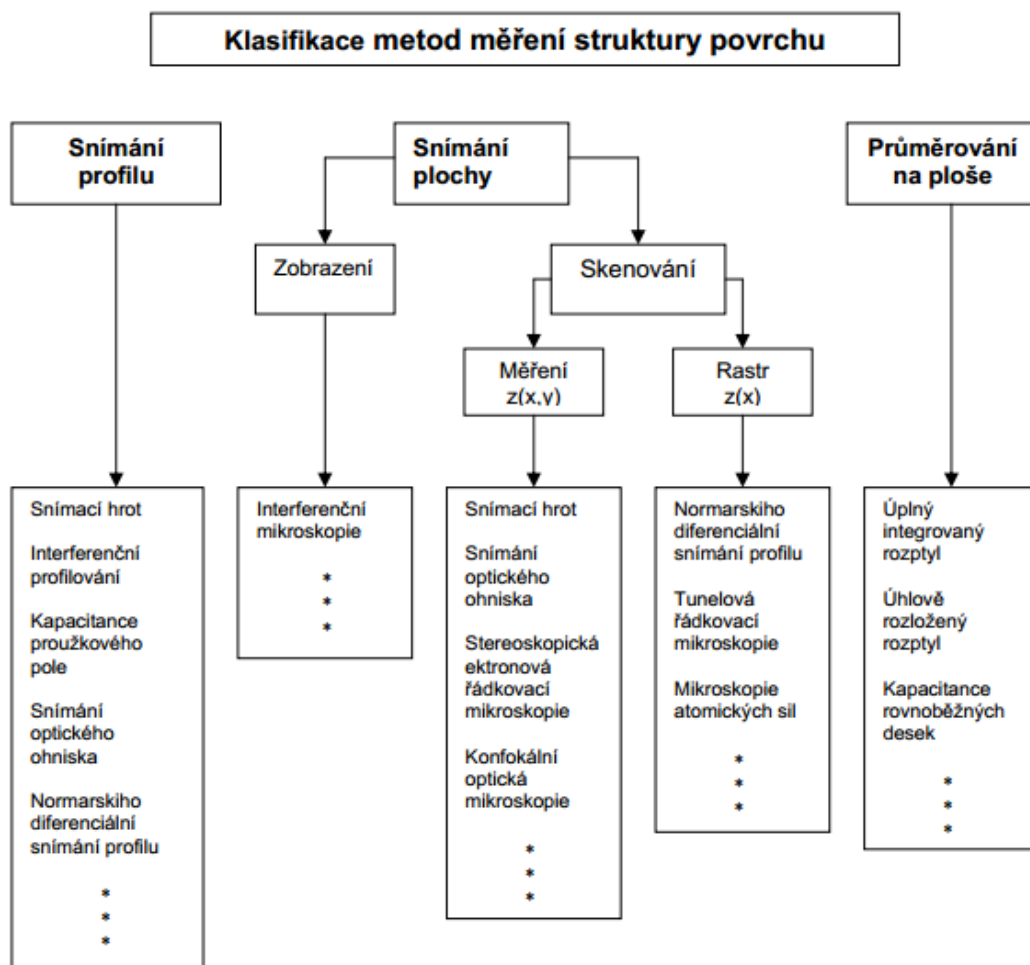
Pro posouzení vlastností povrchů je třeba znát nejprve zákonitosti a detaily “dokonalého” povrchu, který je fyzikálně čistý bez interakce s jinými prostředími a rozdíly, jimiž se uspořádání liší od objemu uvnitř kovu. Teprve tehdy je možné si udělat představu, jak popsat “skutečný” povrch kovu, s nímž se normálně setkáváme. [5]

Volný povrch kovů představuje vrstvu velkého souboru zrn, tvořícího rozhraní mezi pevnou fází a prostředím. Poměrně nejjednodušší jsou okolnosti u monokrystalů. Hraniční roviny monokrystalů jsou dány typem mřížky a orientací. Ale při podrobnějším zkoumání monokrystalů zjistíme, že i zde žádná krystalografická rovina není v atomárních rozměrech dokonale geometricky hladká, bereme-li atomové uspořádání v dané rovině, plošnou hustotu atomů a výskyt jen termodynamicky rovnovážných poruch. Reakce povrchu s plynem bude probíhat podle typu materiálu a charakteru mřížkové roviny, tedy že stejný materiál může reagovat různě. Charakteristickou vlastností všech povrchů v pevné fázi je skoková změna symetrie sil působících v různých směrech, a které se navzájem vykompenzují. Povrchová vrstva je v tomto smyslu nenasycená. [6]

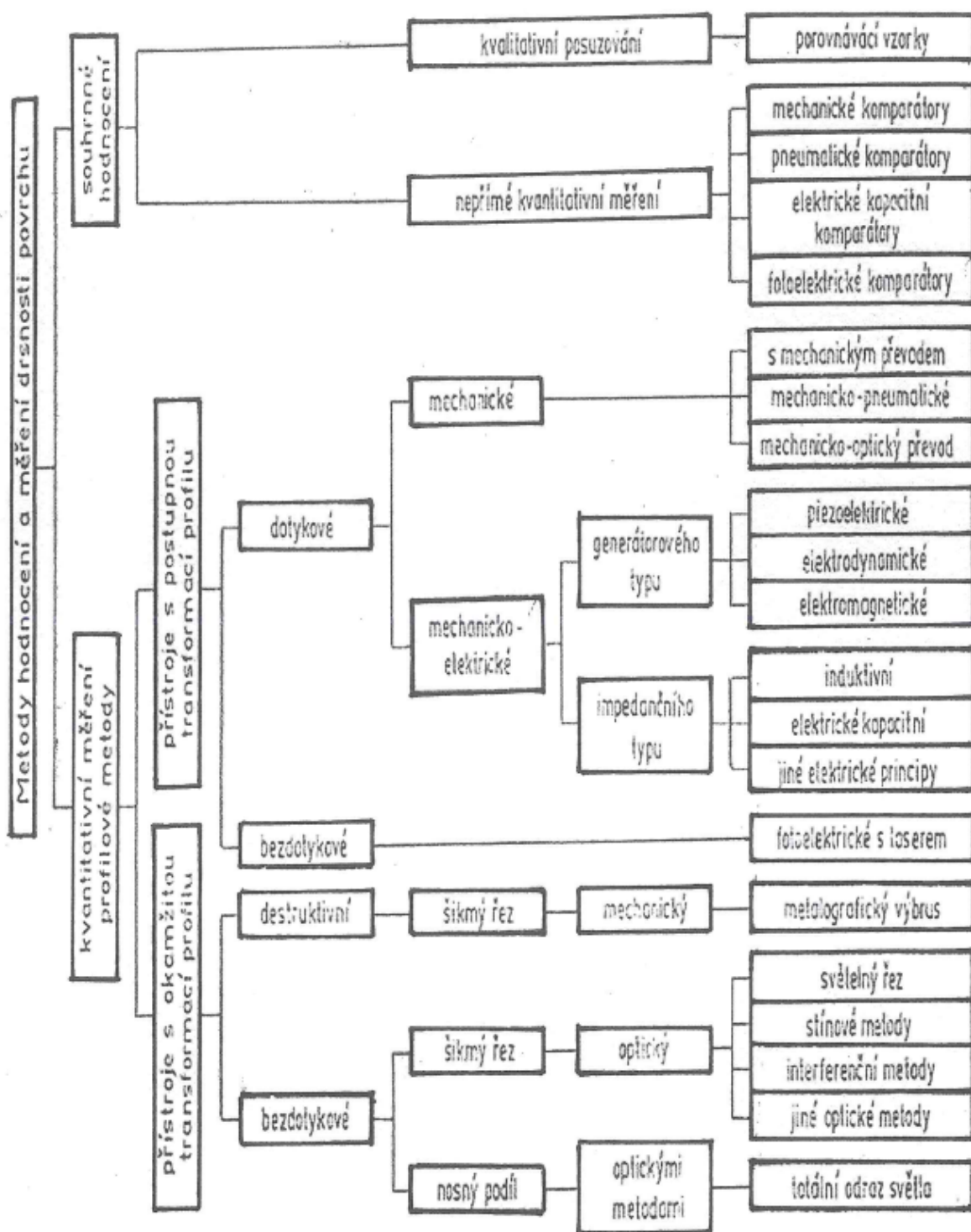
Obrábění je technologie, která se neustále vyvíjí a zahrnuje velké množství vědních oborů. Překotným vývojem techniky, zdokonalováním materiálů dochází i k zdokonalování obráběcí techniky s využitím velmi přesného měření a zvyšování kvality výrobků. Dochází k neustálému soutěžení mezi podniky a v rámci konkurenčního boje samozřejmě ke zrychlování a zlevňování procesu. [7]

1.4 ZPŮSOBY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

Zařazení metod měření drsnosti povrchu:



Obrázek 4 Zařazení metod pro měření textury povrchu

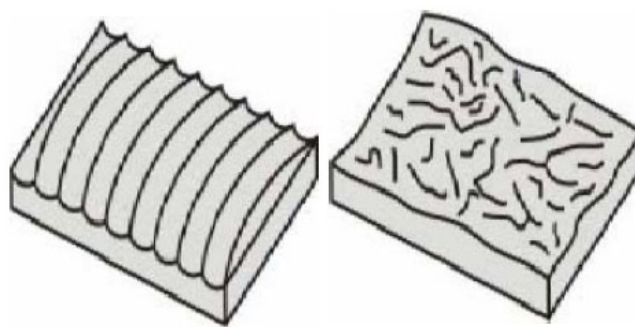


Obrázek 5 Zařazení metod a způsobů hodnocení drsnosti povrchu (22)

V současné době je základním požadavkem na výrobu maximálně se přizpůsobit potřebám zákazníka. Nároky na kvalitu jsou stále vyšší. To klade vysoké nároky na měřicí diagnostickou techniku. Při každém zpracování povrchu vznikají nerovnosti.

Dělí se na:

- Periodické - při soustružení, frézování, vrtání, broušení (nástroj zanechá na povrchu rýhy, které mají určitý směr)
- Aperiodický – vzniká při odlévání a kování



Obrázek 6 Periodický a aperiodický příklad povrchu (21)

Nejdříve nerovnosti analyzujeme a poté separujeme. Pro správnou analýzu máme k dispozici soubor norem GPS (Geometrická specifikace výrobků) – rozměr, vzdálenost, drsnost, vlnitost atd.

ROZDĚLENÍ NOREM GPS:

1. Základní – všeobecně mezinárodně srozumitelné. Obsahují náčrty a určují základní pravidla a postupy.
2. Globální – mají vliv na všechny články řetězců norem.
3. Všeobecné – obsahují pravidla na výkresech (definice a postupy)
4. Doplnkové – nalezneme zde soubor doplňkových pravidel.

Řetězce obsahují 6 článků :

1. Článek – skupina norem, která se týká zapisování na výkrese
2. Článek – tolerance
3. Článek – skutečný tvar výrobku
4. Článek - odchylky a tolerance
5. Článek – použití vhodné techniky
6. Článek – kalibrace s udáním nejistoty měření [17]

Mikrogeometrii povrchu můžeme určit přímým měřením profilu různými přístroji.

Rozdělení metod měření : - **Kvalitativní** (porovnávací) – porovnání povrchu součásti se vzorky povrchů etalonů

- **Kvantitativní** (parametrické) – určení číselných hodnot parametrů povrchu součásti dle příslušné normy.

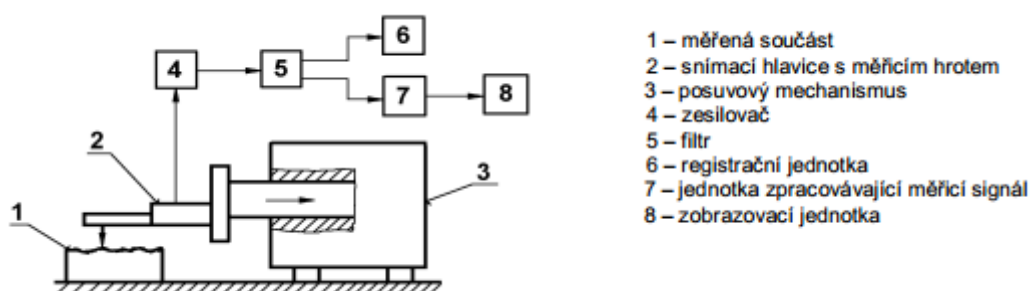
Rozdělení měřících přístrojů: - **Mechanické** - profilometry, profiloměry, profilografy,
 - **Elektro-mechanické** - piezoelektrické, induktivní
 - **Optické** - interferenční, světelné řezy [18]

1.4.1 Měření drsnosti povrchu dotykovým profilometrem

Druhy dotykových profilometrů: Dotykový profilograf s mechanickým převodem, mechanicko-optický dotykový profilograf, dotykové profilografy s mechanicko-pneumatickým převodem, dotykový profilograf s mechanicko-elektrickým převodem, elektromagnetické snímače, elektrodynamické snímače, piezoelektrické snímače, elektroinduktivní snímače, kapacitní snímače. [23]

Touto metodou měření drsnosti povrchu se blíže zabývá norma PN-ISO 3274: 1996. Tato norma obsahuje základní charakteristiky dotykových přístrojů pro měření parametrů drsnosti. Zjišťování jednotlivých parametrů drsnosti povrchu touto metodou umožňuje také získat číselné hodnoty, statistické a spektrální hodnocení nerovnosti povrchu. Dotykový profilometr je složen z mechanické a elektrické části viz. schéma obr. 7.

- Mechanická část, která zahrnuje stůl, na který umísťujeme měřenou součást a rameno se snímacím hrotem, pohybujícím se stálou rychlostí.
- Elektrická část, transformující mechanický signál generovaný snímacím hrotem, snímající nerovnosti povrchu na elektrický signál, který se zpracovává.



Obrázek 7 Schéma dotykového profilometru (19)

Používají se přístroje s vysokou citlivostí – nejpoužívanější je metoda profilová. viz obr. 8. Tato metoda měření povrchu je nejrozšířenější. V této metodě pohyb hrotu, který se posouvá v daném směru, se přemění na elektrický signál a měřicí přístroj získává úchytky ve formě profilu povrchu. [19]

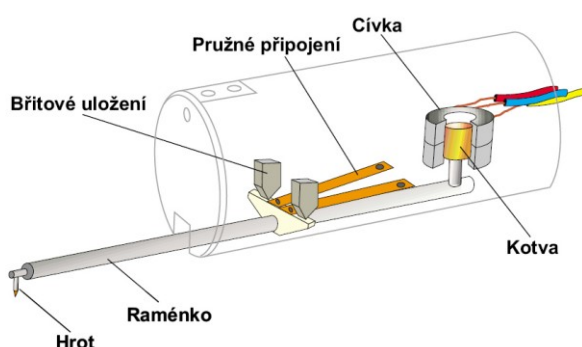
Nejdůležitější součástí profilometru je diamantový hrot, jehož nejdůležitějším parametrem je kulové zakončení na snímací špičce. Přístroj se skládá z mechanické a elektronické části. Výstupem je digitalizovaný profil povrchu ten je pak vyhodnocován profilometrem tab 2.

Tabulka 2 Hodnoty profilometru

JMENOVITÉ HODNOTY CHARAKTERISTIK PROFILOMETRU (podle normy ČSN EN ISO 3274)	
Geometrie hrotu snímače	Ideálním tvarem snímacího hrotu je kužel s kulovou špičkou: - Poloměr zaoblení špičky: $r_{tip} = 2 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$; - Vrcholový úhel kužele: 60° , 90° , (přednostně 60°)
Statická měřicí síla	Jmenovitá hodnota statické měřicí síly ve střední poloze snímacího hrotu: $0,00075 \text{ N}$; Jmenovitá rychlost změny měřicí síly: 0 N.m^{-1}
Mezní vlnová délka filtru profilu (cut-off)	(Charakteristiky filtru podrobně popsány v ČSN EN ISO 11562) Jmenovité hodnoty mezních vlnových délek filtru profilu (cut-off) se vybírají z řady: ...mm; $0,08 \text{ mm}$; $0,25 \text{ mm}$; $0,8 \text{ mm}$; $2,5 \text{ mm}$; 8 mm ; ...mm

Snímání povrchu profilu provádíme: absolutním nebo relativním snímáním

Pohyb dotykového hrotu musí být přesný, elektrický signál je převáděn indukcí. Při měření dbáme na to, aby hrot povrch přesně zaznamenal. Snímací soustava má velký vliv na výsledky měření. [20]



Obrázek 8 Schéma indukčního snímače

POPIS JEDNOTLIVÝCH PROFILŮ

Tabulka 3 Profily (11)

PROFILY (podle normy ČSN EN ISO 3274)	
Název	Definice
Profil povrchu	Průsečnice skutečného povrchu a dané roviny
Snímaný profil	Geometrické místo středů snímacího hrotu stanovených parametrů
Referenční profil	Dráha, po které se snímač podél vedení pohybuje v rovině řezu
Úplný profil	Číslcová forma snímaného profilu vzhledem k referenčnímu profilu
Základní profil	Úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru λ_s ; základní profil reprezentuje základnu pro číslcové zpracování profilu pomocí filtrů profilu a pro výpočet parametrů profilu. Základní profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu.
Zbytkový profil	Základní profil získaný snímáním ideálně hladkého a rovného povrchu (optická rovina). Zbytkový profil je složen z úchylek vedení, vnějších a vnitřních poruch a z úchylek vzniklých při přenosu profilu
Profil drsnosti	Profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c ; profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti
Profil vlnitosti	Profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil; profil vlnitosti je základem pro hodnocení parametrů profilu vlnitosti
STŘEDNÍ ČÁRY (od kterých jsou podle normy ČSN EN ISO 4287 odměřovány souřadnice profilu)	
Jmenovitý tvar (získaný specifikovaným typem metody nejmenších čtverců není částí základního profilu) je odstraněn před získáním základního profilu	
Střední čára základního profilu	Čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu
Střední čára profilu vlnitosti	Čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_f
Střední čára drsnosti	Čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_c

1.4.2 Bezdotyková metoda měření

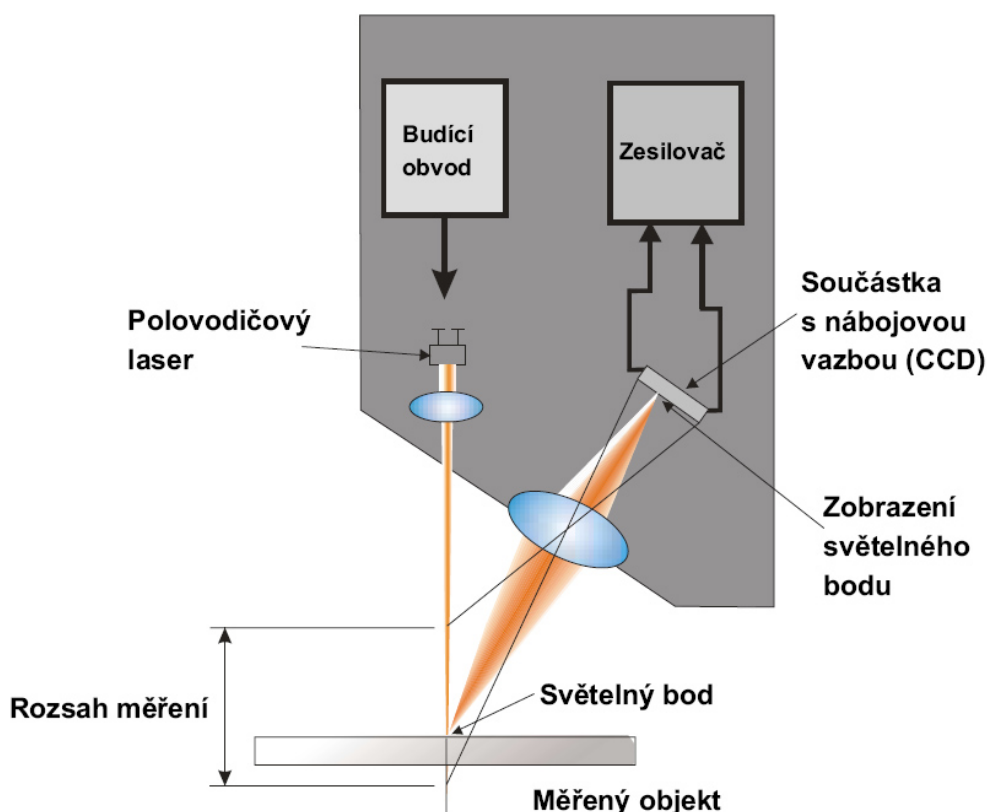
Výroba používá nové progresivní materiály a tudíž je i nutná vyšší přesnost měření rozměrů a tvarů. Základ spočívá na využití světelného paprsku, který se odráží nebo rozptyluje na měřeném povrchu. Není potřeba seřizovat dotykový hrot. Může však dojít ke ztrátě hodnot, pokud se paprsek správně neodrazí zpět do detektoru a data se neuloží. U některých materiálů nejsou dotyková měření vhodná např. u soustavy mikrorozměrových čoček a součástí paměťových zařízení.

1.4.2.1 Plošné měření

Je to přechod na mnohem vyšší úroveň a představuje trojrozměrné měření. Máme k dispozici obrovské množství dat pro reálné vyhodnocení povrchu. Přispívá k objektivnímu posuzování a řešení různých technologických problémů. Umožní sledování změny v různých etapách výroby. Součástí bezdotykového snímání je samozřejmě kvalitní software.

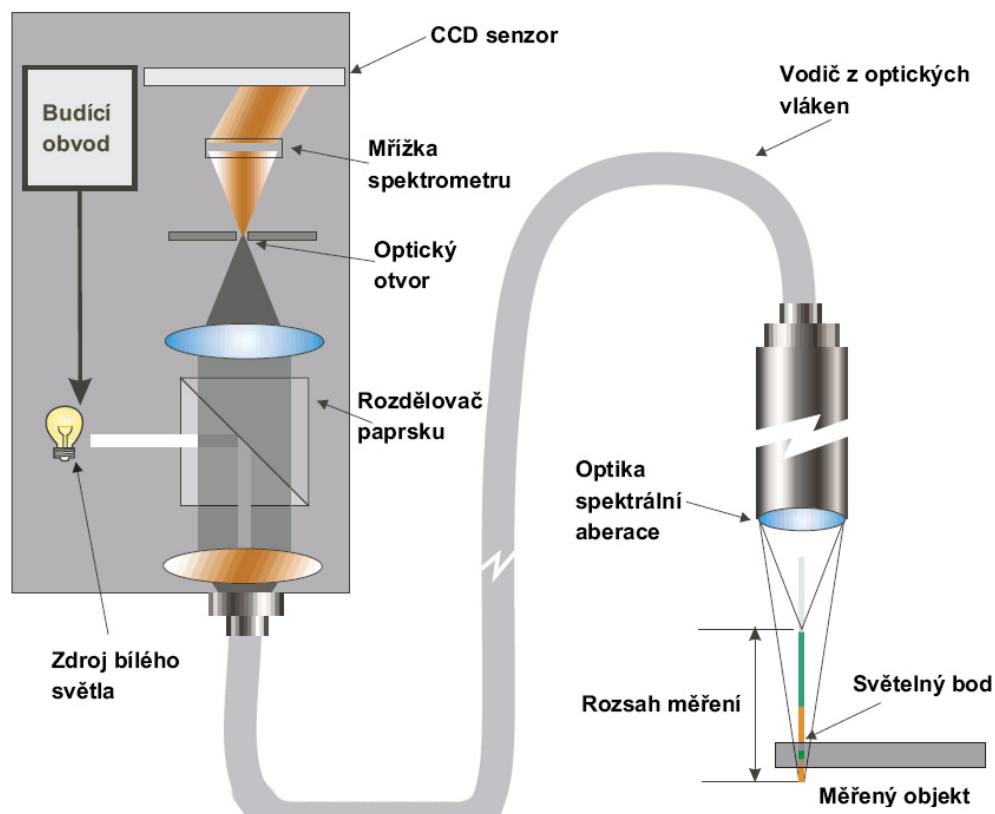
NĚKTERÉ POUŽÍVANÉ MĚŘICÍ SYSTÉMY:

Laserový triangulační snímač:



Paprsek polovodičového laseru se odrazí od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Jeho přínosem je bezdotykovou, široký rozsah, rychlost kontroly a cena.

CLA (Chromatic Length Aberration)snímač



Světlo, které se odrazí z povrchu projde otvorem, který propustí světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vykloní světlo na CCD senzor, kde se každému bodu přiřadí prostorová poloha. Toto bezdotykové měření je vysoce přesné, snímání je rychlé, ve vynikajícím rozlišení.

HODNOCENÍ DOTYKOVÉHO A BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ

U **dotykového** měření může měřicí hrot odsunout nečistoty z dráhy měření, měří i součásti, které nejsou ve vodorovné poloze a je uznávaný a zešířený.

U **bezdotykového** měření máme vysokou rychlost, přesnost a lze měřit citlivé i měkké materiály.

1.4.3 Porovnávací metoda

Metoda porovnáním je založena na vizuální kontrole drsnosti povrchu součásti a porovnání této drsnosti s drsností ethalonů buďto pouhým okem nebo pomocí mikroskopu popřípadě mikroskopového komparátoru.

Podmínky měření: - porovnávaný materiál by měl být stejný nebo alespoň by měl mít stejnou barvu jako materiál ethalonu

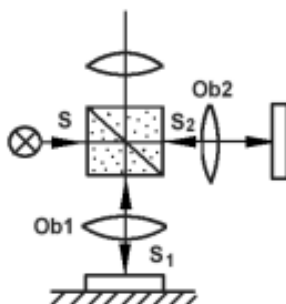
- tvar srovnávané plochy a ethalonové plochy by měl mít stejný tvar např.: vydutý, vypuklý, plochý

- oba povrchy (námi srovnávaný a etalonový) by měly být obrobeny stejnou technologií
- pozorováním porovnáváním by mělo probíhat při stejných osvětlovacích podmínkách

Avšak tato metoda slouží pouze k odhadu, jelikož přesnost měření je zde velice nízká.
[19]

1.4.4 Měření s využití interference světla

Na schématu na obr. 9 je nakreslen princip klasického interferenčního mikroskopu.



Obrázek 9 Schéma interferenčního mikroskopu (19)

- Paprsek (S) jdoucí ze zdroje světla dopadá na polopropustné zrcadlo, které je tvořeno ze skleněného hranolu – dopadající paprsek se rozdělí na dva další paprsky.
- Paprsek (S₁) putuje na povrch měřené součásti a zpět.
- Paprsek (S₂) jde na odrazové zrcadlo, kde se odrazí zpět. Oba tyto paprsky se spojují (interferují) a jdou do okulárního mikroskopu.
- Oba objektivy musí být shodné (ob.1, ob.2)

Vzniklé interferenční proužky je pak možné sledovat v okuláru mikroskopu.

Ideálně rovné plochy se zobrazují jako stejnoměrně rovnoběžné proužky. Pokud je na povrchu nějaká rýha, projeví se na tomto místě vychýlení interferenčních proužků. Vzdálenost proužků je stejná jako změna klínové vrstvy o $\lambda/2$ a to při kolmém dopadání světla a velmi malém úhlu klínu. Známe-li vychýlení proužku (ΔL) a vzdálenost interferenčních proužků (L) je možné spočítat velikost nerovnosti ze vztahu: $R = \frac{\Delta L \cdot \lambda}{L \cdot 2}$

Kde: λ – vlnová délka použitého světla

Abychom docílili ostřejšího obrazu, můžeme použít vícepaprskovou interferenci.

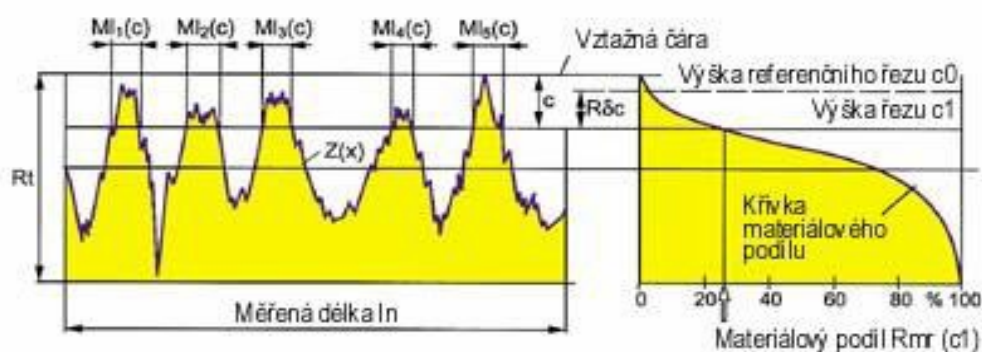
2. PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU

Tabulka 4 Zařazení parametrů drsnosti povrchu (20)

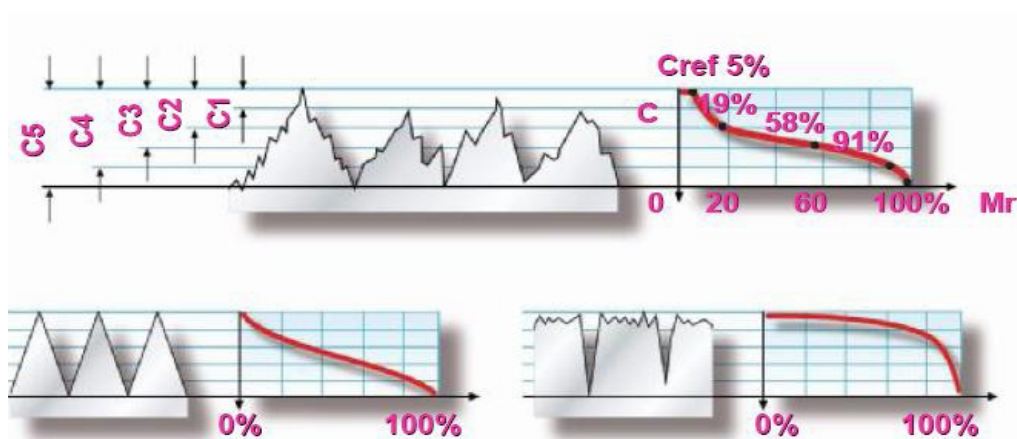
PARAMETRY STRUKTURY POVRCHU (podle norem GPS)				
Norma ČSN EN ISO	Název parametru	Značka	Definováno na	
			<i>I</i>	<i>In</i>
4287	Výškové parametry			
	Největší výška výstupku profilu	<i>Pp,Rp,Wp</i>	x	
	Největší hloubka prohlubně profilu	<i>Pv,Rv,Wv</i>	x	
	Největší výška profilu	<i>Pz,Rz,Wz</i>	x	
	Průměrná výška prvků profilu	<i>Pc,Rc,Wc</i>	x	
	Celková výška profilu	<i>Pt,Rt,Wt</i>		x
	Průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu	<i>Pa,Ra,Wa</i>	x	
	Průměrná kvadratická úchylna posuzovaného profilu	<i>Pq,Rq,Wq</i>	x	
	Šikmost posuzovaného profilu (skewness)	<i>Psk,Rsk,Wsk</i>	x	
	Špičatost posuzovaného profilu (kurtosis)	<i>Pku,Rku,Wku</i>	x	
4287	Délkové parametry			
	Průměrná šířka prvků profilu	<i>PSm,RSm,WSm</i>	x	
4287	Tvarové parametry			
	Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu	<i>Pdq,Rdq,Wdq</i>	x	
4287	Křivky a odpovídající parametry			
	Materiálový poměr profilu (nosný podíl)	<i>Pmr(c), Rmr(c),Wmr(c)</i>		x
	Rozdíl výšky úseku profilu	<i>Pdc,Rdc,Wdc</i>		x
	Vzájemný materiálový poměr	<i>Pmr,Rmr,Wmr</i>		x
	Empirické rozdělení výšek profilu			x
12085	Parametry metody motiv pro profil drsnosti			
	Průměrná hloubka prvků motiv drsnosti	<i>R</i>		x
	Největší hloubka profilu nerovnosti	<i>Rx</i>		x
	Průměrná rozteč prvků motiv drsnosti	<i>AR</i>		x
12085	Parametry metody motiv pro profil vlnitosti			
	Průměrná hloubka prvků motiv vlnitosti	<i>W</i>		x
	Největší hloubka vlnitosti	<i>Wx</i>		x
	Průměrná rozteč prvků motiv vlnitosti	<i>AW</i>		x
	Celková hloubka vlnitosti	<i>Wte</i>		x
13565-2	Parametry křivky lineárního poměru materiálu			
filtrace podle 13565-1	Hloubka jádra drsnosti	<i>Rk</i>		x
	Materiálový podíl	<i>Mr1</i>		x
	Materiálový podíl	<i>Mr2</i>		x
	Redukovaná výška výstupků	<i>Rpk</i>		x
	Redukovaná hloubka prohlubní	<i>Rvk</i>		x
13565-2	Parametry křivky lineárního poměru materiálu			
filtrace podle 12085	Hloubka jádra drsnosti	<i>Rke</i>		x
	Materiálový podíl	<i>Mr1e</i>		x
	Materiálový podíl	<i>Mr2e</i>		x
	Redukovaná výška výstupků	<i>Rpke</i>		x
	Redukovaná výška prohlubní	<i>Rvke</i>		x
13565-3	Parametry pravděpodobnostní křivky materiálu			
filtrace podle 13565-1 základní profil	Sklon regresní přímky vedené oblastí plošinek	<i>Ppq,Rpq</i>		x
	Sklon regresní přímky vedené oblastí prohlubní	<i>Pvq,Rvq</i>		x
	Relativní materiálový poměr v místě průsečíku oblastí	<i>Pmq,Rmq</i>		x

2.1 TVAR A HODNOCENÍ POVRCHU

Při spojování dvou součástí záleží na velikosti stykové plochy – materiálový poměr profilu R_{mr} , obr. 10 a křivka materiálového poměru profilu takzvaná nosná křivka obr. 11.

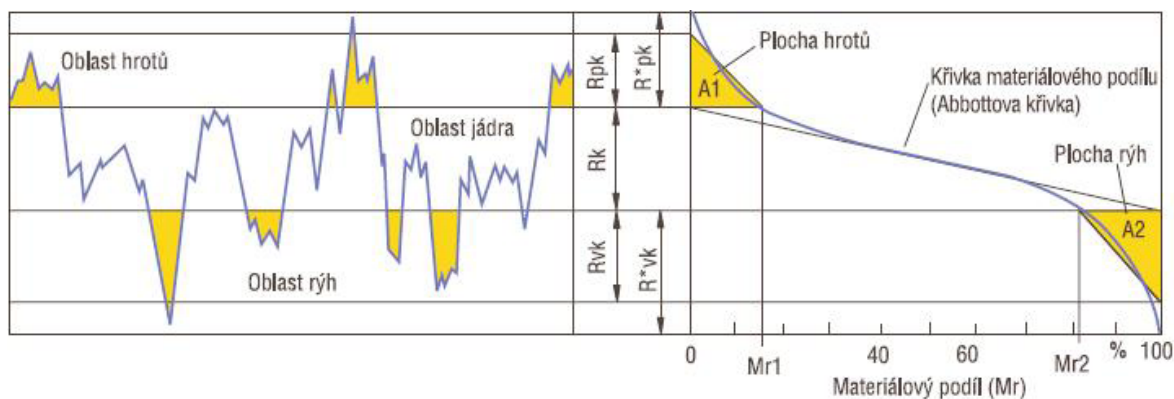


Obrázek 10 Materiálový podíl (12)



Obrázek 11 Průběh materiálového poměru (16)

Pro zatěžování povrchu materiálu je nejdůležitější výška jádra profilu drsnosti R_k . Při zátěži dochází k zanedbatelným změnám měrného tlaku a styková plocha se pomaleji opotřebovává. Čím menší je hloubka jádra tím rovnější je charakter povrchu viz obr. 12. [15]



Obrázek 12 Veličiny nosného podílu (9)

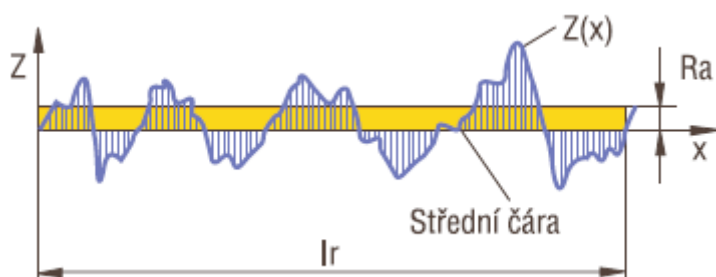
Deformace tvaru bez ohledu na drsnost a vlnitost vznikají při nedostatečném upnutí, či vyšších teplotách při obrábění. Je sledována nejen drsnost povrchu, ale i průběh chování povrchu při funkčním zatěžování a stanovení technologických podmínek zaměřující určité funkční vlastnosti. [7]

Tabulka 5 Označení parametrů profilu podle ISO 4287 (7)

	Výškové parametry									Délkové parametry	Tvarové parametry	Křivky a odpovídající parametry		
	Výstupek - prohlubeň					Střední hodnota								
Parametry <i>R</i> – profilu Parametry drsnosti	<i>R_p</i>	<i>R_v</i>	<i>R_z</i>	<i>R_c</i>	<i>R_t</i>	<i>R_a</i>	<i>R_q</i>	<i>R_{sk}</i>	<i>R_{ku}</i>	<i>R_{sm}</i>	<i>R_{dq}</i>	<i>R_{mr(c)}</i>	<i>Rδ_c</i>	<i>R_{mr}</i>
Parametry <i>W</i> – profilu Parametry vlnitosti	<i>W_p</i>	<i>W_v</i>	<i>W_z</i>	<i>W_c</i>	<i>W_t</i>	<i>W_a</i>	<i>W_q</i>	<i>W_{sk}</i>	<i>W_{ku}</i>	<i>W_{sm}</i>	<i>W_{dq}</i>	<i>W_{mr(c)}</i>	<i>Wδ_v</i>	<i>W_{mr}</i>
Parametry <i>P</i> – profilu Parametry struktury	<i>P_p</i>	<i>P_v</i>	<i>P_z</i>	<i>P_c</i>	<i>P_t</i>	<i>P_a</i>	<i>P_q</i>	<i>P_{sk}</i>	<i>P_{ku}</i>	<i>P_{sm}</i>	<i>P_{dq}</i>	<i>P_{mr(c)}</i>	<i>Pδ_c</i>	<i>P_{mr}</i>

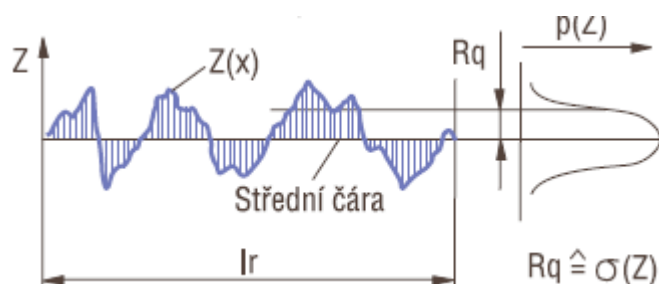
2.1.1 Parametry 2D

Vychází z dvourozměrného měření profilu povrchu. Drsnost (R), vlnitost (W), šikmost (Rsk) a špičatost (Rku) popisující tvar křivky hustoty pravděpodobnosti souřadnic. **Šikmost** udává polohu maxima souřadnic bodů profilu povrchu v rozmezí největší výšky nerovnosti povrchu a **špičatost** určuje množství těchto souřadnic.



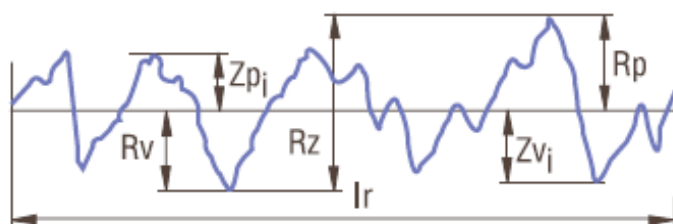
$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx$$

Obrázek 13 Střední aritmetická hodnota drsnosti (9)



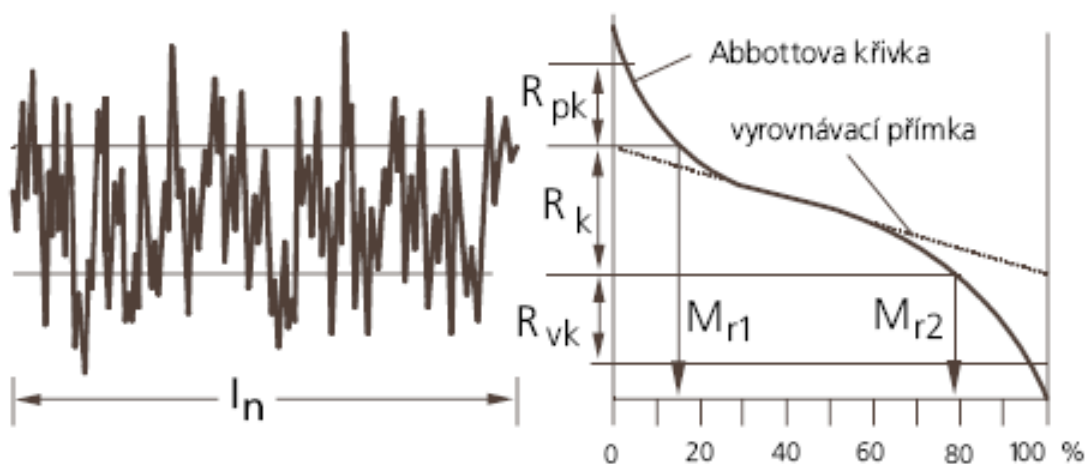
$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^2(x) dx}$$

Obrázek 14 Střední kvadratická hodnota drsnosti (9)



$$RZ = RV + RP$$

Obrázek 15 Maximální výška profilu (9)



Obrázek 16 Abbotova křivka (7)

(veličiny nosného podílu, křivka materiálového poměru profilu)

2.1.2 Parametry křivky materiálového poměru profilu

Je určena k charakteristice povrchů, jejichž funkční vlastnosti se mění v závislosti na výšce profilu. Parametry křivky materiálového poměru profilu pro jednotlivé metody dokončování a posuzování tření, mazání a opotřebení. [7]

Tabulka 6 Označování parametrů křivky poměru materiálu podle ISO13565-2 (7)

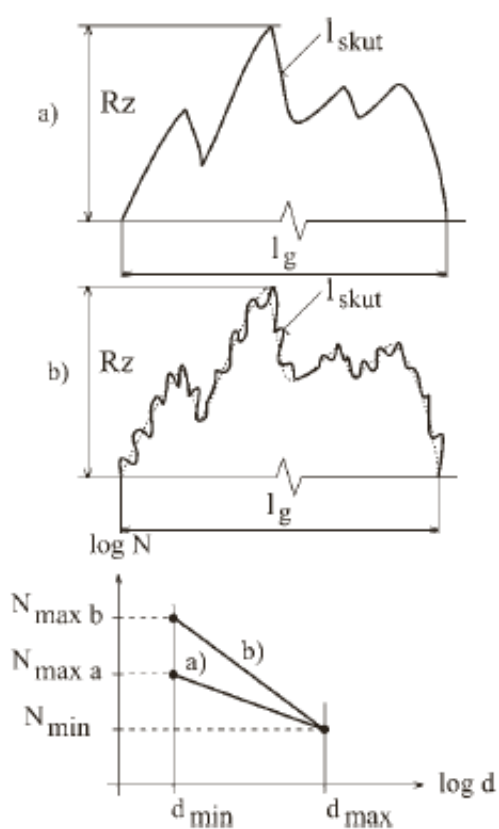
	Parametry				
Parametry profilu drsnosti podle ISO 13565-2 Filtrace podle ISO 12565-1	<i>Rk</i>	<i>Rpk</i>	<i>Rvk</i>	<i>Mr1</i>	<i>Mr2</i>

Tabulka 7 Označování parametrů pravděpodobnostní (7)

	Parametry		
Profil drsnosti Filtrace podle ISO 13565-1	R_{pq}	R_{vq}	R_{mq}
Profil textury Filtrace Ls	P_{pq}	P_{vq}	P_{mq}

2.1.3 Fraktální analýza

Je to doplňková veličina hodnocení povrchu. Cílem je zjistit míru členitosti a složitosti analyzované součástky. [10]



Obrázek 17 Schéma porovnání dvou povrchů s totožným R_z (10)

Tabulka 8 Vztah mezi parametry a funkcí povrchu (ČSN EN ISO 12085) (12)

Povrch		Funkce povrchu		Parametry									
				Profil drsnosti			Profil vlnitosti				Základní profil		
		Název	Značka	R	Rx	AR	W	Wx	Wte	AW	Pt	P5c	
Povrchy v kontaktu	Se vzájemným pohybem	Klouzáni s mazáním	FG	x			≤0,8R			o		x	
		Suché tření	FS	x		o		x		o			
		Valení	FR	x			≤0,3R	x		o		O	
		Odpor proti rozkování	RM	o		o				o			
		Tekutinové tření	FF	x		o				o			
	Bez vzájemného pohybu	Dynamic ké těsnění	S těsnící vložkou	ED	x	o	o	≤0,6R			o		
			Bez těsnící vložky		o	x		≤0,6R					X
		Statické těsnění	S těsnící vložkou	ES	o	x		≤R		o	o		
			Bez těsnící vložky		o	x		≤R		x			
		Spojení bez pohybu s předpětím	AC	o									X
		Adheze (lepení)	AD	x								o	
Nezávislý povrch	S napětím	Nástroje (řezné plochy)	EA	o	x	o						O	
		Únavová pevnost	RC	x	x								
	Bez napětí	Korozní odolnost	RC	x	x								
		Povrch nátěru	RE			o				o			
		Elektrolytické povlakování	DE	x	≤2R	x							
		Měřicí plochy	ME	x			≤R						
		Hledisko vzhledu	AS	x		o	o			O			

Vysvětlivky:

O – méně důležité parametry

X – nejdůležitější parametry

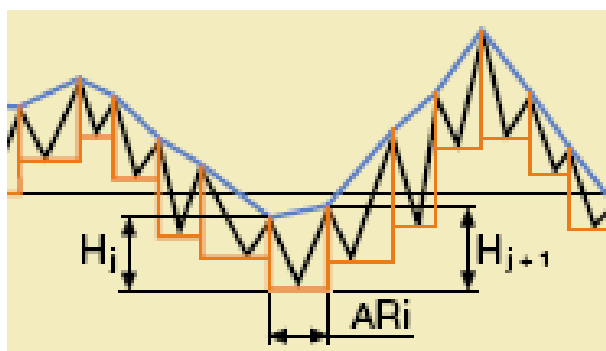
2.1.4 Metoda 3D

Tato metoda znamená posun na vyšší úroveň. Intenzita souřadnic, počet, velikost a tvar vrcholů profilu nejen zvyšují objektivitu hodnocení povrchu, ale i využívá se pro předurčení zatíženého povrchu a jeho provozních změn.

Třírozměrná analýza povrchu zajistí zobrazení kontrolovaného povrchu včetně simulace opotřebení. Výšky jsou barevně rozlišeny, můžeme volit zvětšení i rozměrová měření. Analýza je tedy výborná k určení průběhu opotřebení, tření, stárnutí, koroze, mazání, únavové vlastnosti a těsnění stykových ploch. [7]

2.1.5 Metoda „MOTIF“

Méně často používaná doplňková metoda, zabývá se jednotlivými prvky nerovnosti povrchu viz. obr 18.



$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m H_j$$

Obrázek 18 Parametry motif(11)

2.2 FUNKČNOST PLOCHY V ZÁVISLOSTI NA PARAMETRECH DRSNOSTI

2.2.1 Těsnící schopnosti

Je třeba získat odpovídající informace o tom, jak předvídat prolínání kapaliny mezi dvěma plochami. K této analýze je zapotřebí znát hloubku na všech úrovních stlačení. Této problematice se věnuje spousta badatelů, jelikož téma je velice obsáhlé (např. Greenwood, Rathbun a Mitchell).

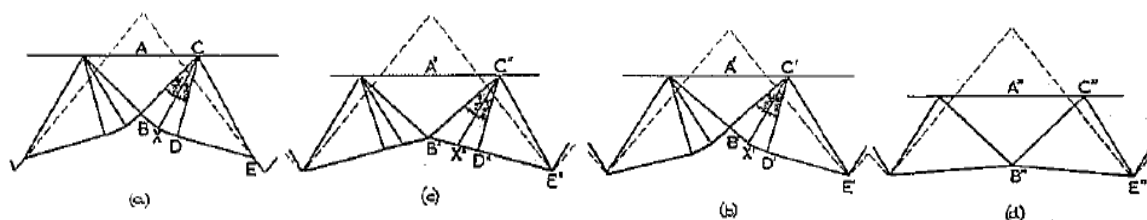
Teorie špatné přilnavosti byla odvozena – mezi jmenovitým zatížením a přetvořením kontaktní plochy. Máme úměrný vztah mezi konstantním zatížením a skutečnou plochou styku - „Amontovy zákony“.

1. zákon: velikost tření se přímo úměrná zatížení
2. zákon: velikost tření nezávisí na velikosti styčných ploch

Práce Greenwoodova, Rathbunova a např. Mitchellova, kteří používají při měření nerovnosti složité přístupy nás nenechává na pochybách, že problematika je natolik složitá, že je třeba pečlivě zvažovat, jakých metod měření je třeba užít. Z toho vyplynut důležitý poměr mezi zatížením a skutečnými konstantními plochami. [13]

2.2.2 Klínovitá nerovnost povrchu

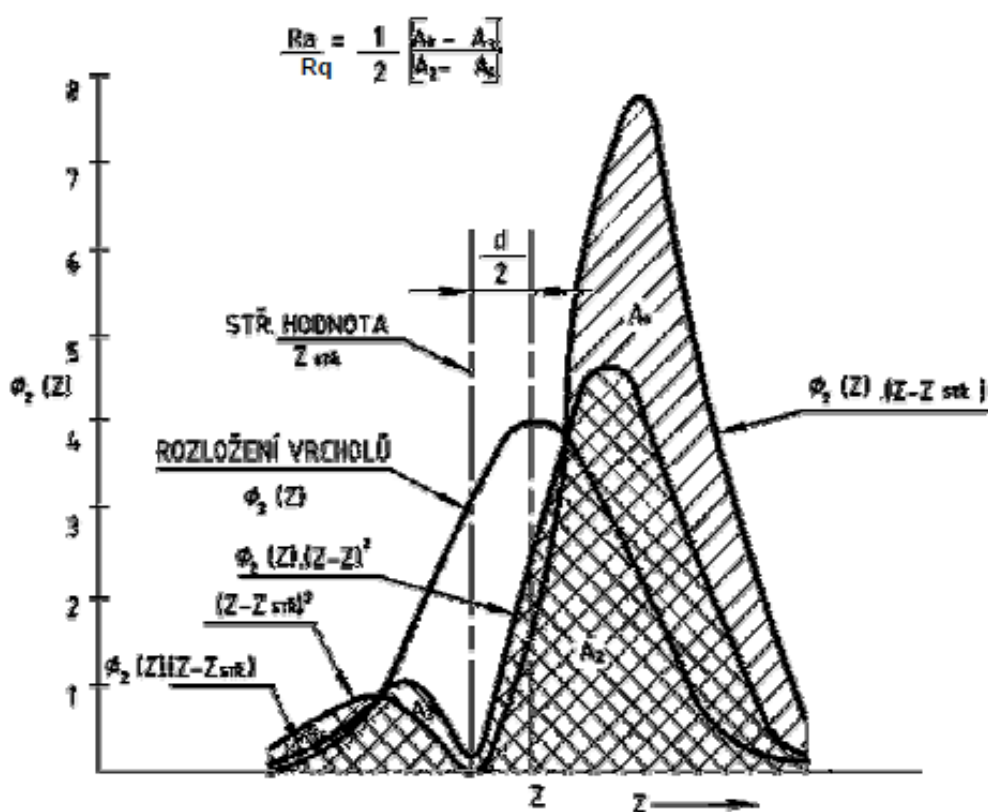
Model je založen na deformaci povrchu vytvořené stlačením klínu (vrcholu) plochou nepružnou rovinou, abychom v konečném stlačení zjistili např. průtok nebo průsak kapaliny uvnitř deformovaného prostoru. [13]



Obrázek 19 Model klínovité nerovnosti(13)

2.2.3 Vazba mezi rozložením vrcholů, prohlubní a střední hodnotou

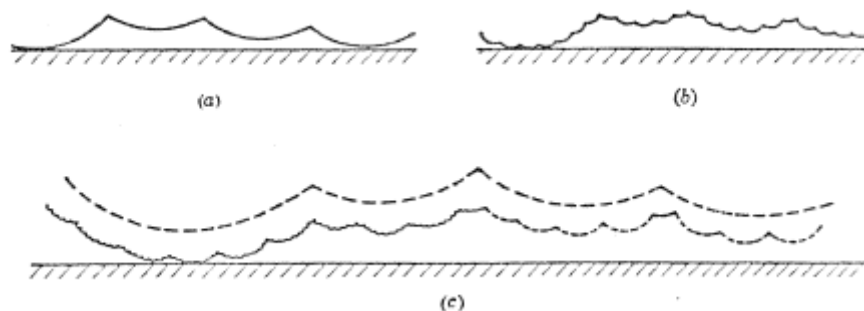
Jestliže je odchylka rozložení vrcholů a rozložení úrovně prohlubní čára, rovná se čáře střední hodnoty profilu. [13]



Obrázek 20 Rozložení vrcholů (13)

2.2.4 Vazba mezi povrchem a funkcí

Jakým způsobem zakomponovat plastickou deformaci do triboologických podmínek tření? Základním měřítkem pro pružné stlačení byla drsnost a závisela na zešíkmení profilu, tvrdosti a pružnosti. Následujícím pokrokem byla Archardovo vytvoření povrchu obsahující odlišné velikosti drsnosti povrchu viz obr. 21. – vztah mezi vztyčnou plochou a zatížením v pružných podmínkách. [14]



Obrázek 21 Stupně určení hladin (14)

Vysvětlivky : a) Dlouhá vlnová délka

b) Dlouhá a střední vlnová délka

c) Dlouhá, střední a krátká vlnová délka

Struktura povrchu má zde velký význam. Složitost povrchů byla zkoumána ve vztahu ke styku a opotřebení. Problematice drsnosti a hodnocení textury je věnována velká pozornost a je vypracováno velké množství prací např. od autorů: Whitehouse, Archard, Williamson, Belidor, Sliehting a další.

VYUŽITÍ TEORETICKÝCH POZNATKŮ V PRAXI

Pokud chceme dosáhnout téměř shodné drsnosti povrchu při opracování výrobku je nanejvýš dobré, mít příslušnou oborovou normu. Na životnost výrobku mají vliv konečné úpravy výrobku – zářezy, škrábance, póry, trhliny a jiné poškození je nepřípustné. Na výsledek zjišťovacího procesu anomálii výrobku má vliv volba vhodných veličin, které nám zabezpečí docílení určené kvality. Charakteristika povrchu je velmi složitá ve vztahu k dalším vlastnostem, jako je: těsnost, třecí moment adhezní, optické a jiné vlastnosti. [15]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální práce je zjistit, do jaké míry ovlivňují určité parametry a způsob technologie obrábění ovlivňují mikrogeometrii povrchu.

Experimentální část probíhala ve spolupráci s technickou univerzitou v Žilině, kde byly zhotoveny měřené vzorky. Jako další část experimentu probíhal, na Vysoké škole Báňské – Technická univerzita Ostrava, kde byla hodnocena drsnost povrchu v závislostech na daných řezných parametrech a za použitých řezných strojů a nástrojů. Materiály byly ocel 1.2343(19 552) a 1.1191 (12 050). Tyto vzorky byly opracovány na stroji Hurco vmx 30 t a řezný nástroj byl použit od firmy ISCAR. Před samotným hodnocením povrchu byly vzorky zarovnány technologií sousledného frézování na téže stroji.

3.1 POUŽITÝ STROJ

Pro experiment bylo použito vertikální obráběcí centrum označení: Hurco VMX t30. Toto centrum se využívá na větší obrobky, je zde tedy větší nárůst síly. Je vhodný pro hrubování.

Technické parametry VMX t30(24):

Pojezd (X-Y-Z)	760 - 510 - 610 mm
Výkon vřetene	13 kW
Otáčky vřetene	10 - 12 000 ot./min
Rychlosti rychloposuvu v X/Y/Z	35 / 35 / 30 m/min
Kroutící moment	214 Nm při 600 ot./min
Standardní vřeteno s kuželem SK40	24 nástrojů
Řídicí systém	WINMAX s dvěma obrazovkami



Obrázek 22 Vertikální obráběcí centrum Hurco VMX t30(24)



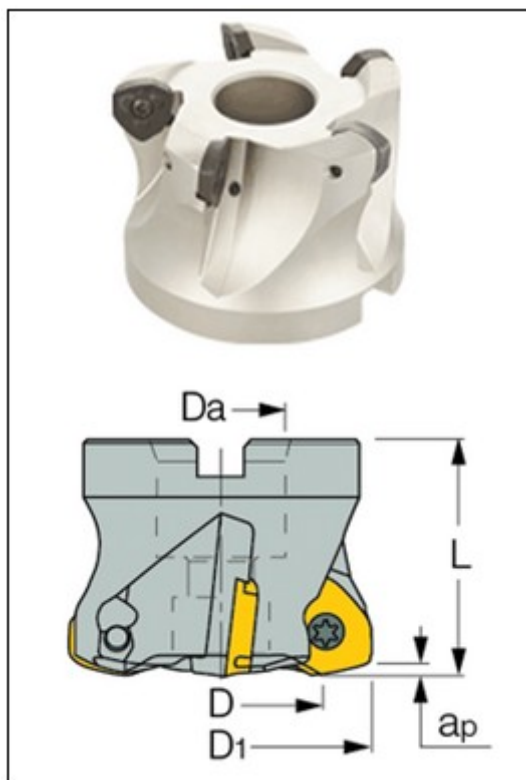
Obrázek 23 Vzorek ustavený ve stroji Hurco VMX t 30

3.2 POUŽITÉ NÁSTROJE

- FF FW D50-22-06-C (pětizubá fréza) - FF WOMT 060212 T-M IC908(destičky)
- FF FW D50-22-05 (šestizubá fréza) - H600 WXCUI 05T312T IC830 (destičky)

Na provedení toho experimentu byly použity dva druhy řezného nástroje a to pětizubé a šestizubé frézy od společnosti ISCAR. Firma ISCAR je velice silně se vyvíjející společnost dodávající zejména nástroje na bázi spékanych karbidů. V tomto experimentu byly konkrétně použity frézy s označením FF FW D50-22-06-C a FF FW D50-22-05, břitové destičky byly použity FF WOMT 060212 T-M IC908 pro frézu FF FW D50-22-06-C a H600 WXCUI 05T312T IC830 pro frézu FF FW D50-22-05 .

Popis frézy - **FF FW D50-22-06-C (pětizubá fréza)**



Obrázek 24 Použitá fréza - FF FW D50-22-06-C(25)

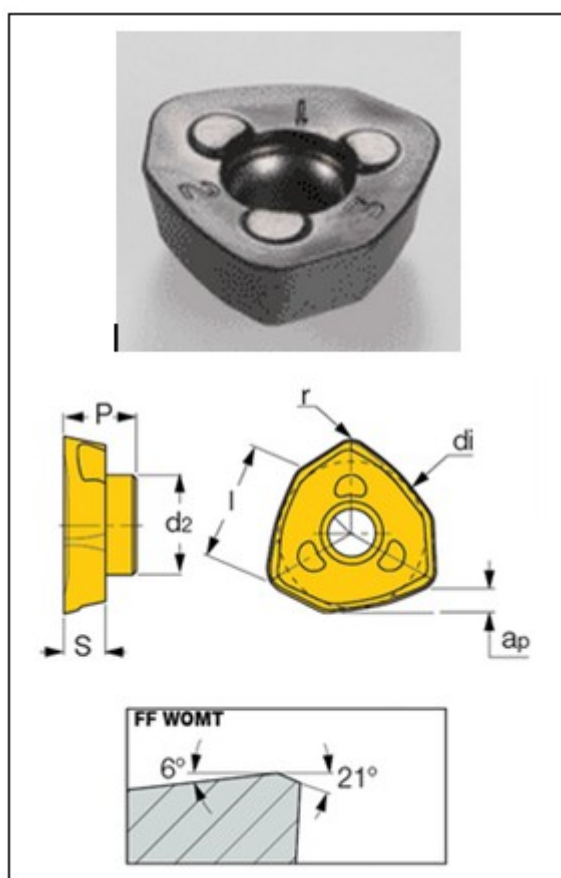
Tabulka 9 Rozměry frézy FF FW D-50-22-06-C (25)

D1 [mm]	D [mm]	Ap1 max. [mm]	Da [mm]	L [mm]
50	36	1.5	22	40

Použité destičky pro frézu FF FW D50-22-06-C : FF WOMT 060212 T-M IC908

Tabulka 10 Technické parametry břitové destičky FF WOMT 060212 T-M IC908 (25)

Velmi jemnozrnná struktura s velkou odolností řezání. Poskytuje vysokou odolnost proti opotřebení. Je doporučován pro velkou škálu materiálů.	
Rozsah ISO – P/M/K	(P15-P30)(M20-M30)(K20-K40)
Rozsah ISO – H/S/N	(H10-H20)(S15-S25)
Typ povlaku	PVD
Povlakové vrstvy	TiAlN

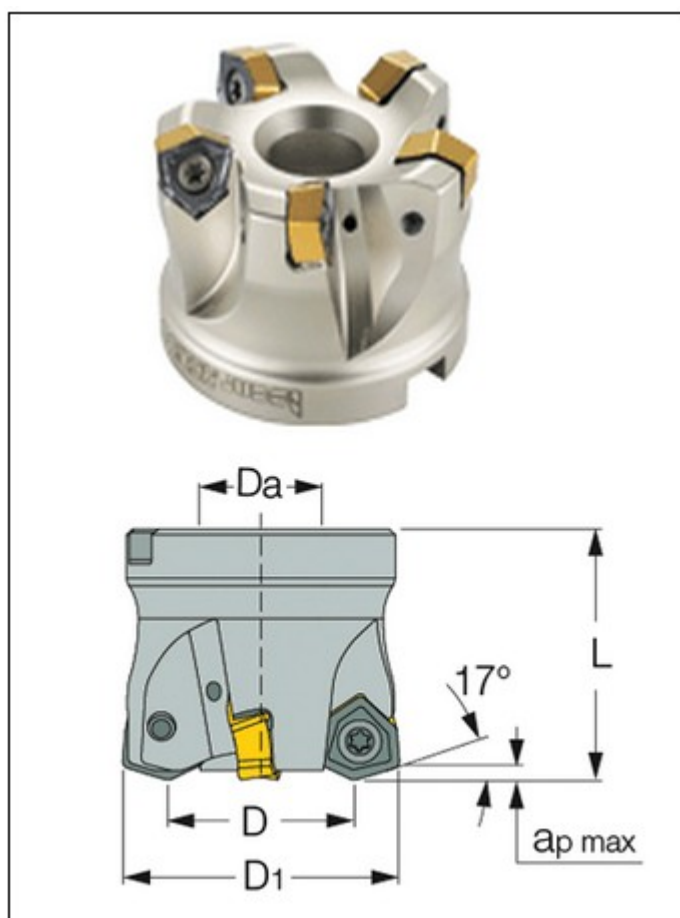


Obrázek 25 Použitá břitová destička - FF WOMT 060212 T-M IC908(25)

Tabulka 11 Rozměry břitové destičky FF WOMT 060212 T-M IC908(25)

di [mm]	L [mm]	S [mm]	ap [mm]	P [mm]	d2 [mm]	r [mm]	fz min [mm]	fz max [mm]
9.86	7.00	2.7	1.00	4.7	5.60	2.00	0.70	1.50

Popis frézy - FF FW D50-22-05 (šestizubá fréza)



Obrázek 26 Použitá fréza - FF FW D50-22-05(25)

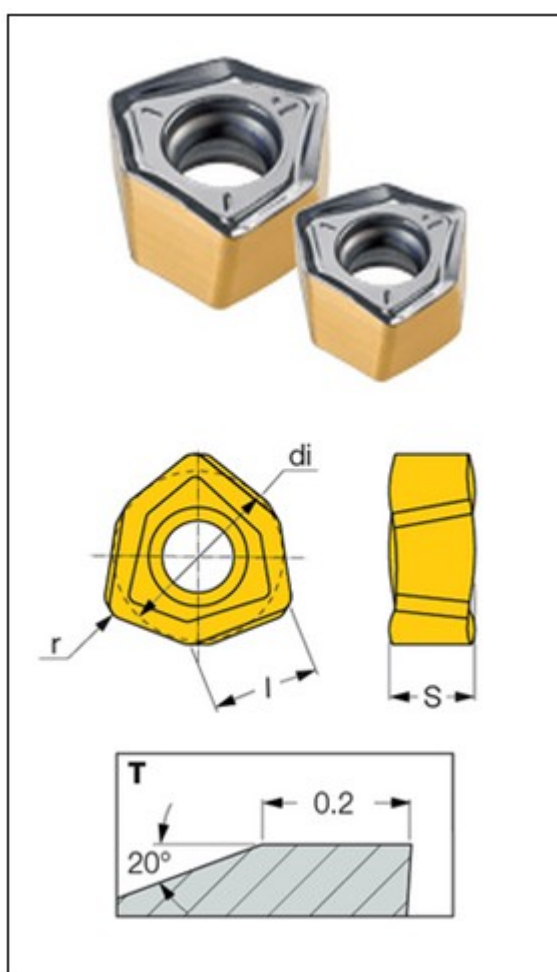
Tabulka 12 Rozměry frézy FF FW D-50-22-05 (25)

D1 [mm]	D [mm]	Ap1 max. [mm]	Da [mm]	L [mm]
50	40.1	1.0	22	40

Použité destičky pro frézu FF FW D50-22-05 : H600 WXCUI 05T312T IC830

Tabulka 13 Technické parametry břitové destičky H600 WXCUI 05T312T IC830 (25)

"SUMOTEC" AlTiN + TiN PVD povlak. Doporučeno pro přerušovaný řez a těžké operace pro nerezové a legované oceli za vysokých teplot.	
Rozsah ISO – P/M/K	(P20-P50)(M20-M30)
Rozsah ISO – H/S/N	(S15-S40)
Typ povlaku	SUMOTEC
Povlakové vrstvy	AlTiN+TiN



Obrázek 27 Použité břitové destičky - H600 WXCUI 05T312T IC830 (25)

Tabulka 14 Rozměry břitové destičky H600 WXCUI 05T312T IC830(25)

di [mm]	L [mm]	S [mm]	ap max [mm]	ap min [mm]	r [mm]	fz min [mm]	fz max [mm]
8.33	5.50	4.2	1.00	0.80	1.20	0.70	1.20

3.3 POUŽITÉ MATERIÁLY PRO VZORKY

- Ocel 1.2343 (19 552)
- Ocel 1.1191 (12 050)

Ocel 1.2343 (19 552) Středně legovaná chrom-molibden-vanadová ocel pro práci za tepla
Tato ocel byla v kalena na tvrdost 40-42HRC. Kalení provedla firma GALVAMET Vsetín.

Použití : Velmi namáhané nástroje pro práci za tepla (lisovací trny a matice, nástroje na protlačování, nástroje pro výrobu šroubů a matic za tepla, nástroje pro tlakové lití, lisovací nářadí, vložky zápustek a nože pro stříhání za tepla).

Chemické složení:

Chem.prvky	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Obsah v [%]	0,38	1,10	0,40	5,00	1,20	0,40

Mechanické a fyzikální vlastnosti:

Prokalitelnost při kalení do oleje	Rozměrové změny po kalení	Odolnost proti popuštění ¹⁾	Pevnost za tepla ¹⁾	Houževnatost za tepla ¹⁾	Otěruvzdor-nost za tepla ¹⁾	Obrobitelnost ²⁾
150 mm	velmi malé	velká	střední	velká	dobrá	velmi dobrá

¹⁾ ve stavu zušlechťeném na běžnou pevnost; ²⁾ ve stavu měkce žíhaném.

Mechanické vlastnosti za tepla (informativní hodnoty)											
Pevnost po zušlechtění v MPa			Pevnost při teplotě °C v MPa				Mez 0,2 % při teplotě °C v MPa				
			400	500	600	650	400	500	600	650	
1600			1300	1100	800	600	1100	900	600	400	
1200			1000	850	580	400	800	650	420	250	
Fyzikální vlastnosti											
Modul pružnosti při teplotě °C 10 ³ N.m ⁻²			Tepelná vodivost při teplotě °C W.m ⁻¹ .K ⁻¹			Měrný odpor při teplotě °C Ω.mm ² .m ⁻¹			Měrné teplo při teplotě °C J.kg ⁻¹ .K ⁻¹		
20	500	600	20	500	600	20	500	600	20	500	600
215	175	165	25	28,5	29,0	0,50	0,85	0,95	460	550	595
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ... °C (10 ⁻⁶ m.m ⁻¹ .K ⁻¹)											
100		200		300		400		500		600	
11,5		12,0		12,2		12,5		12,8		13,0	

Ocel 12 050 (1.1191) ČSN 41 2050, Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení

Použití: Ocel k zušlechťování, k povrchovému kalení, pro velké výrobky. NŽ:840°C, K: 820 °C (voda, olej), P: 600°C (vzduch). Na hřídele turbokompresorů, čerpadel, těžních strojů, elektromotorů a dynam, na větší ozubená kola, šneky, automobilové klikové hřídele, ojnice, páky řízení, závěsy pružin, vřetena soustruhů, vrtací tyče, frézovací trny. Obtížná svařitelnost.

Chemické složení:

Chem.prvky	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
Obsah v	0,42	0,50	0,17	max	max	max	max	max
[%]	0,50	0,80	0,37	0,25	0,30	0,30	0,04	0,04

Mechanické vlastnosti:

Mech. Vlastnosti dle ČSN 41 20 50			
Mez kluzu	Rp0,2	MPa	min. 325
Mez pevnosti	Rm	MPa	min. 540
Tažnost	A₅	%	min. 17
Tvrdost		HB	max. 225
Modul pružnosti v tahu	E	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku	G	GPa	79

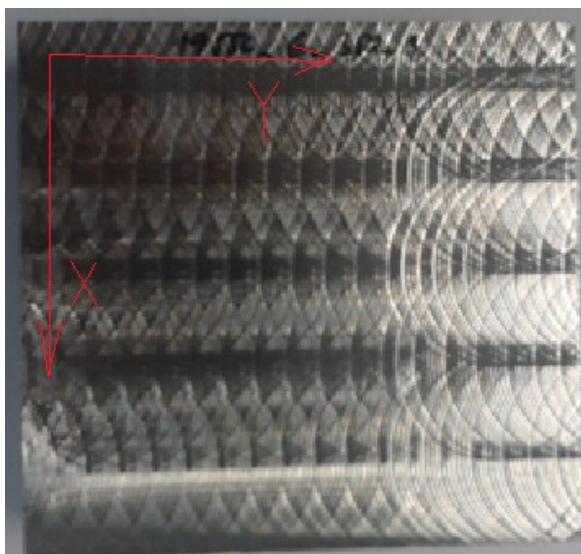
3.4 ŘEZNÉ PODMÍNKY EXPERIMENTU

Tento experiment byl proveden technologií čelního sousledného frézování. U každého vzorky byly zvoleny odlišné parametry obrábění. Vzorky se obráběly ve dvou variantách – stejné použití parametrů rozlišnými nástroji. Cílem je porovnat rozdíl v drsnosti povrchu při použití stejných parametrů za použití buďto pětizubé nebo šestizubé frézy. Řezné podmínky pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v následující tabulce. V experimentu se vzorky obráběly s různým úběrem materiálu (hloubka řezu) a to pro dva nástroje.

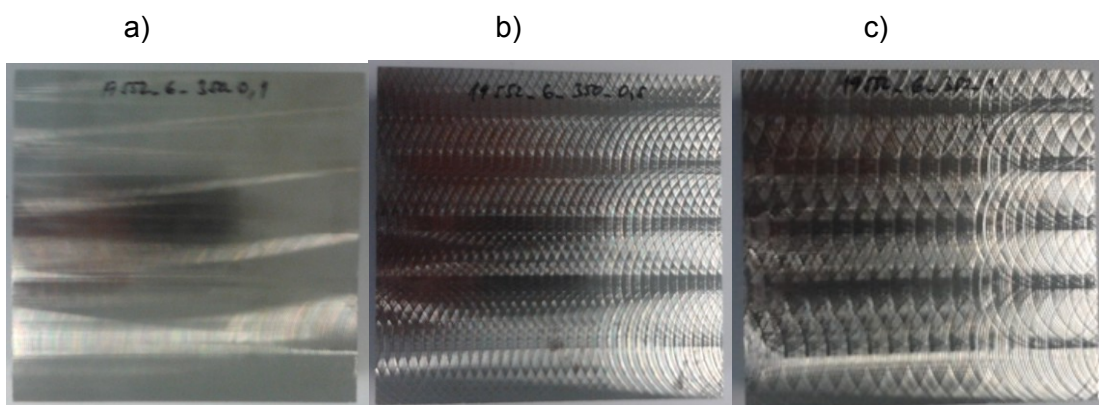
Tabulka 15 Tabulka použitých řezných parametrů

MATERIÁL	POČET ZUBŮ NÁSTROJE	ŘEZNÁ RYCHLOST V_c [m/min]	POUSUV NA ZUB f_z [mm]
1.2343 (19 552) 1.1191 (12 050)	5	250	0,1
			0,5
			1,0
			1,5
			2,0
	6	350	0,1
			0,5
			1,0
		450	0,1
			0,5
			1,0
		550	0,1
			0,5
		850	0,1
			0,5

Drsnost povrchu vzorků bude měřena 10 krát. Měření proběhne ve dvou na sebe kolmých směrech. Ve směru posuvu frézování (osa x) – podélná drsnost povrchu a ve směru kolmém na tento směr (osa y) – příčná drsnost povrchu.



Obrázek 28 Měření drsnosti povrchu v příčném a podélném směru



Obrázek 29 Sada obrobených vzorků pro mat. 19 522 s posuvem na zub f_z a) 0,1
b) 0,5 c) 1



Obrázek 30 Způsob ustavení vzorku ve stroji

3.5 NÁVRH MĚŘENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI POVRCHU

V tomto experimentu bude řešena drsnost povrchu v závislosti na parametrech řezných podmínek a použitých nástrojích.

3.5.1 Stanovení parametrů drsnosti povrchu

Funkční vlastnosti výrazně ovlivňuje drsnost povrchu. Drsnost je jeden z parametrů, který udává použitelnost součástí a tím i použitelnost celých konstrukčních celků. Stanovujeme-li drsnost povrchu je třeba postupovat dle příslušné normy a to podle mezinárodní normy ČSN EN ISO 4287 s platností od roku 1999 s názvem Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.

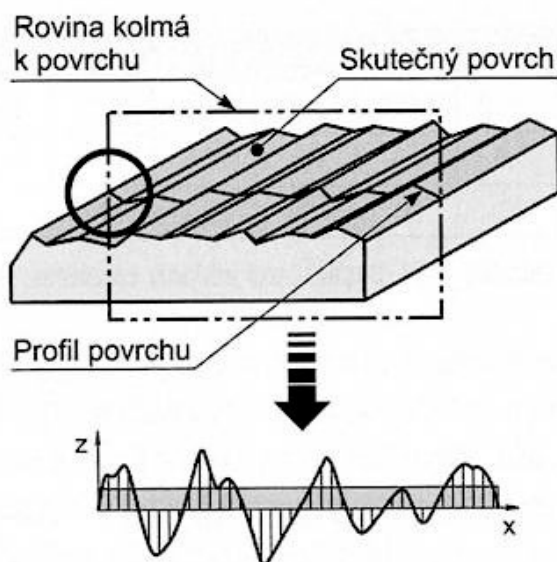
Jak jednotlivé parametry ovlivňují funkčnost povrchu lze vidět v tabulce 16.

Tabulka 16 Vliv parametrů povrchu na funkci povrchu (17)

Vzájemné působení povrchů	Ovlivňující parametry
Kluzné a valivé tření	Ra, Rz, Rq, Rmr, RΔq
Statické a dynamické zatížení	Rz, Rp, Rmr, počet vrcholů výstupků
Přestup tepla	Rz, Rp, Rmr, počet vrcholů výstupků
Mazání a absorpce	Rz, Rp, RΔq, RSm, směr nerovností
Koroze	Ra, Rv, RSm
Odraz elektrických vln	Rz, RSm, Rmr, RΔq
Elektrická vodivost	Rz, Rp, Rmr, počet vrcholů výstupků

Každá technologie obrábění povrchu zanechává na povrchu součástí výstupky a prohlubně, což všeobecně označujeme jako nerovnost povrchu. Definice profilů povrchů, použité v práci, potřebné pro vyhodnocení povrchu jsou podle ČSN EN ISO 4287:1999 [17]:

Profil povrchu: profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu dané roviny viz obr. 31. V praxi se volí rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem.



Obrázek 31 Profilová metoda měření (27)

Profil drsnosti: je odvozen od základního profilu potlačením druhových složek pomocí **filtru profilu λ_c** . Přenosné pásmo pro profil drsnosti je definováno **filtru profilu λ_s a λ_c** .

Profil vlnitosti: postupnou aplikací **filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c** na základní profil odvozujeme profil vlnitosti. Filtr **λ_f** potlačí dlouhovlnné složky a filtr **λ_c** potlačí krátkovlnné složky.

Filtry profilu: transformuje profil, aby neobsahoval nerovnosti s větší roztečí (vlnitost nebo jiné úchyly tvaru), které by mohly zkreslovat měření drsnosti povrchu. Pro správnou funkci filtru je třeba definovat hodnoty základní délky, podle které se povrch filtruje. Filtr profilu rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. [20]

Tabulka 17 Filtry profilu

FILTRY PROFILU (podle normy ČSN EN ISO 11562)	
Název	Definice
Filtr profilu	Filtr rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky
λ_s filtr profilu	Filtr určující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu
λ_c filtr profilu	Filtr určující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostí
λ_f filtr profilu	Filtr určující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu
Fázově korigovaný filtr	Filtr profilu, který nezpůsobuje fázový posuv vedoucí k asymetrickému zkreslení profilu

Stanovení základní a vyhodnocované délky profilu:

Základní délka l_r je délka ve směru osy x pro rozpoznání nerovností charakterizující základní profil.

Vyhodnocovaná délka l_n je délka ve směru osy x použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Za pomoci ČSN EN ISO 4287:1999 byla stanovena základní a vyhodnocovaná délka profilu l_r a l_n :

- Základní délka profilu (cut-off) $l_r = 2,5 \text{ mm}$
- Vyhodnocovaná délka profilu $l_n = 12,5 \text{ mm}$

Základní charakteristiky drsnosti povrchu se definují v rozsahu základní délky – ta se volí tak, aby se výrazně neprojevil vliv vlnitosti. Základní délka profilu je normalizovaná. Vyhodnocovaná délka může obsahovat více základních délek.

Zařízení použité při měření drsnosti vzorků

Hodnocení povrchu vzorků bylo prováděno pomocí dotykového měřicího přístroje názvu SurfTest SJ-401 od výrobce MITUTOYO v prostorách Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava.

SJ-401 je dotykový měřicí přístroj pro zjišťování drsnosti povrchů pomocí posuvného hrotu. Tento přístroj je určen pro dílenské použití. Model SJ-401 je schopný hodnotit struktury povrchu, vlnitosti povrchu a mnoho dalších parametrů podle různých národních a mezinárodních norem. Umožňuje vyhodnotit až 46 parametrů. Získané hodnoty se zobrazují digitálně nebo graficky na dotykovém displeji, s možností tisku přímo v zabudované tiskárně tohoto přístroje.



Obrázek 32 Použitý přístroj pro měření drsnosti povrchu vzorků(26)

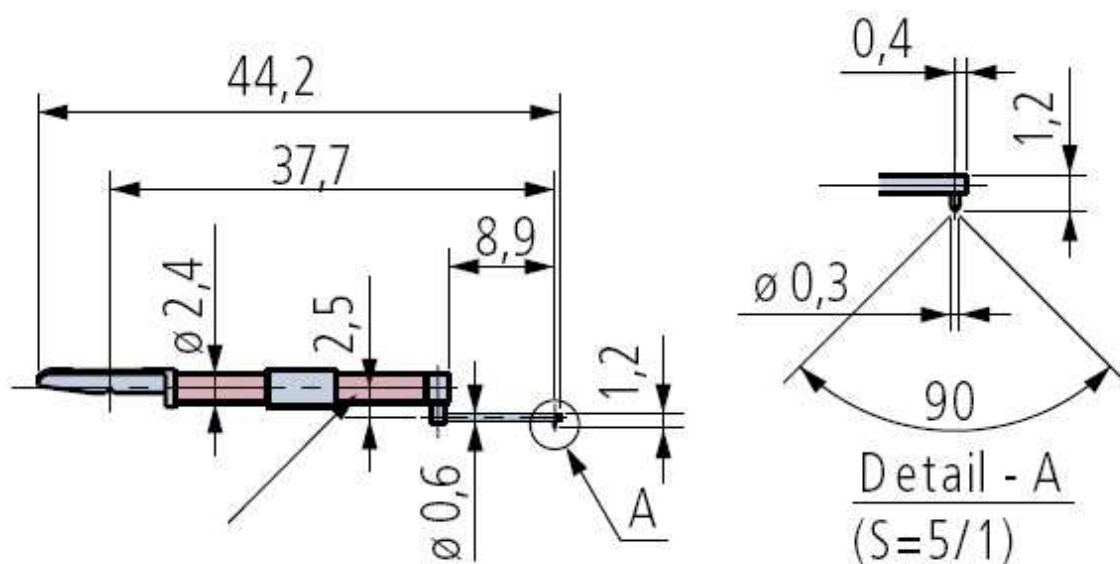
Technické parametry přístroje:

Tabulka 18 technické parametry přístroje MITUTOYO SurfTest SJ-401 (26)

Rozsah osy X (posuv)	25 [mm]
Rozsah osy Z (zdvih)	800 [μ m]
Měřicí rychlost:	0,05; 0,1; 0,5; 1,0 [mm/s]
Zpáteční rychlost:	0,5; 1,0; 2,0 [mm/s]
Provozní teplota	5 °C až 35 °C
Relativní vlhkost	85 % relativní vlhkosti

Použitý snímací dotek:

Pro experiment byl použit snímač s označením 12AAC733v viz obr.31. Rádus hrotu tohoto snímače je 2 μ m, úhel špičky je 60° a měřicí síla hrotu byla 4mN.



Obrázek 33 Snímací dotek 12AAC733v (26)

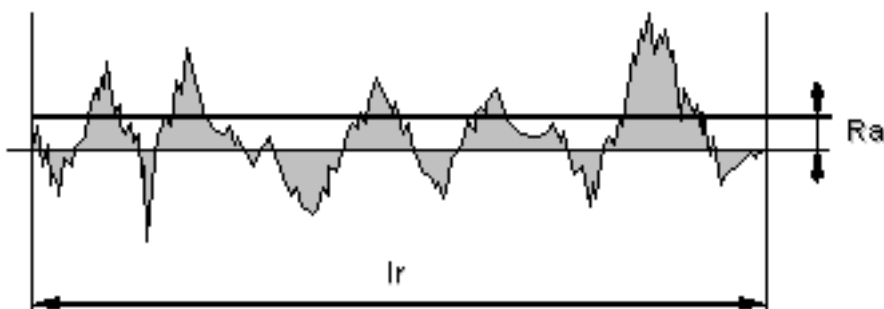
Princip měření přístrojem SJ-401:

Drobné nepravidelnosti měřeného povrchu je zaznamenáván pomocí dotykového hrotu přístroje SurfTest SJ-401. Drsnost povrchu se stanoví na základě vertikálního posuvu dotykového hrotu po povrchu součásti. Parametry měření byly použity:

- Základní délka profilu (cut-off) $l_r = 2,5$ mm
- Vyhodnocovaná délka profilu $l_n = 12,5$ mm
- Rychlost snímání: 0,5 mm/s
- Použitý filtr: Gaussův

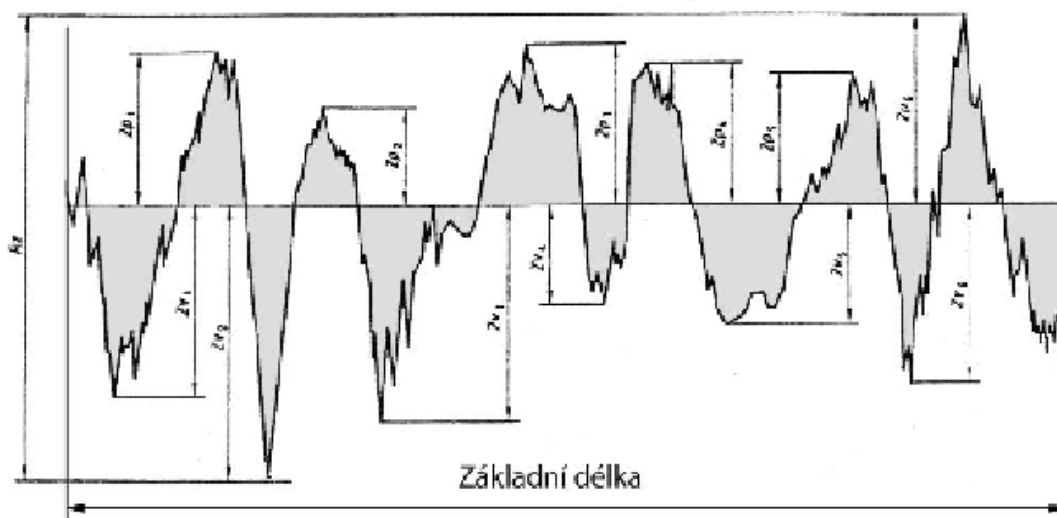
V experimentu byly vyhodnocovány tyto výškové a délkové parametry:

Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu: aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky [17]. Tato hodnota přesně nevypovídá o dané drsnosti, protože Ra citlivě nereaguje na extrémní výšky a hloubky měřeného profilu.



Obrázek 34 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

Rz – Největší výška profilu – součet výšky nejvyššího výstupku profilu Z_p a hloubky nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky l_r viz obr. 33.

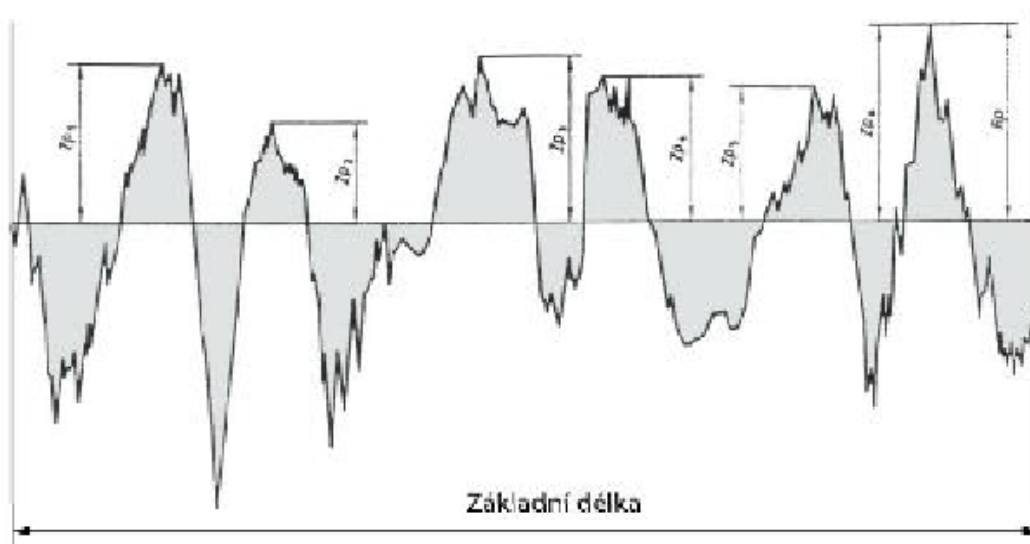


Obrázek 35 Největší výška profilu

Rq - Průměrná kvadratická úchylka profilu – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky [17]. Parametr Rq je důležitý při statickém pozorování profilu povrchu, protože odpovídá standardní odchylce z profilových pořadnic.

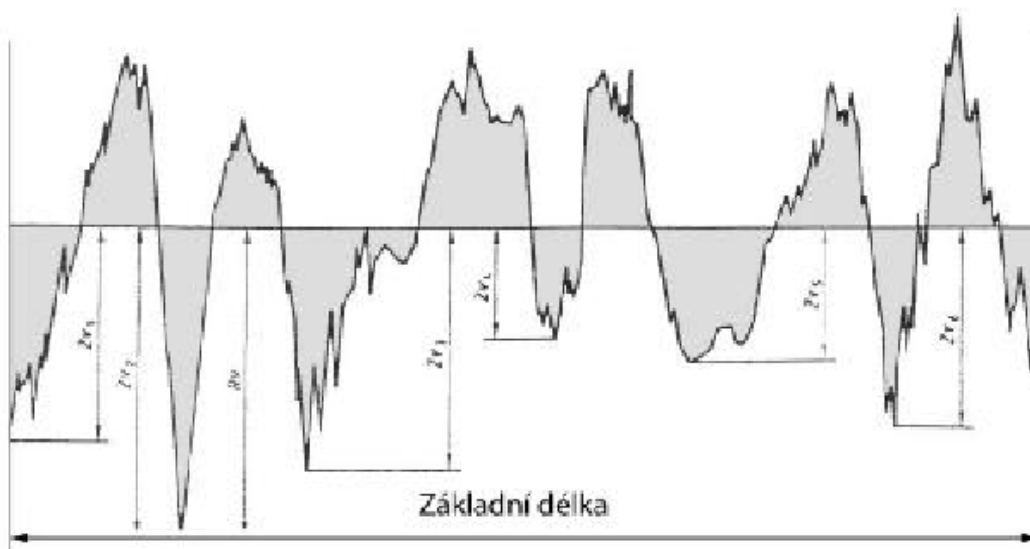
Rt – celková výška profilu – součet výšky nejvyššího výstupku profilu Z_p a hloubky nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu vyhodnocované délky l_n . U tohoto profilu je důležité, že nevychází ze střední čáry a jeho velikost je přímo ovlivněna rýhami a nečistotami na kontrolovaném povrchu.

Rp – největší výška výstupku profilu – výška nejvyššího výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky l_r viz obr 34.



Obrázek 36 Nejvyšší výška výstupků profilu R_p

Rv – největší hloubka prohlubně profilu – hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky l_r viz obr. 35.



Obrázek 37 Největší hloubka prohlubně profilu

3.5.2 Nejistoty měření

Nejistota měření je poměrně nový pojem. Nejistota měření je parametr, který vyjadřuje rozsah (interval) hodnot kolem výsledku měření, který je možné přiřadit hodnotě měřené veličiny. Může se týkat výsledku, naměřených hodnot, použitých konstant nebo korekce atd., na kterých nejistota výsledku závisí. Základní charakteristikou je standardní nejistota u , tako nejistota je vyjádřena hodnotou směrodatné odchyly $s(x)$, při normálním rozdělení $p=68,27\%$ [19].

Pro každou měřenou plochy v tomto experimentu byla stanovena standardní nejistota typu A (u_A), standardní nejistota typu B (u_B), a kombinovaná standardní nejistota (u_C).

Standardní nejistota typu A (u_A) – pomocí výpočtu směrodatné odchyly $s(\bar{x})$:

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

kde: u_A – je standardní nejistota typu A

$s(x)$ – je směrodatná odchyly

\bar{x} – je střední hodnota

x_i – je naměřená hodnota

n – je rozsah výběru

Standardní nejistota typu B (u_B) - vychází z odhadu na základě zkušeností. Byla určena pro konzultaci s pracovníky metrologických pracovišť. Stanovení této nejistoty vychází z předpokladu vlivu opěrné patky snímacího hrotu a nejistoty přístroje.

$$u_b = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2}$$

kde: u_B – je standardní nejistota typu B

u_{B1} – je nejistota vlivu opěrné patky snímacího hrotu

u_{B2} – je nejistota měřícího přístroje

u_{B1} - hodnota stanovena pro normální rozdělení hustoty pravděpodobnosti vztahem :

$$u_{B1} = \frac{Z_3 \max}{\sqrt{3}}$$

kde: u_{B1} - je nejistota vlivu opěrné patky snímacího hrotu

$Z_3 \max$ - byla stanovena na $\pm 3\%$ pro daný měřící přístroj

Hodnota u_{B2} byla stanovena na $\pm 3\%$ z naměřené hodnoty pro daný měřící přístroj.

Kombinovaná nejistota (u_c) je dána vztahem:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

kde: u_c – je kombinovaná standardní nejistota

u_A – je standardní nejistota typu A

u_B – je standardní nejistota typu B

Rozšířená kombinovaná nejistota je vyjádřena vztahem:

$$U_c = k_u \cdot u_c$$

kde: U_c – je rozšířená kombinovaná nejistota

u_c – je kombinovaná standardní nejistota

k_u – je koeficient rozšíření (pokrytí), byl stanoven na $k_u = 2$ [19]

Testování hodnot podezřelých na zatížení hrubou chybou

Nesprávným provedením měření, odečtením měření, způsobem zpracování, manipulací s měřidlem nebo vadou přístroje vznikají hrubé chyby a ty se musí ze souboru vyřadit. V našem případě se však taková chyba nevyskytla.

Postup:

1) Z naměřených hodnot ($x_1 < x_2 < \dots < x_n$) se vypočítá střední hodnota:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde: \bar{x} - je střední hodnota

n – je rozsah výběru

výběrová směrodatná odchylka:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

kde: $s(x)$ - je výběrová směrodatná odchylka

\bar{x} - je střední hodnota

x_i - je naměřená hodnota

n - je rozsah výběru

- 2) Posouzení odlehlosti podezřelých hodnot souboru (x_2, \dots, x_n) se vypočítají normované hodnoty H_2, \dots, H_n ($x_2 < \bar{X}, x_n > \bar{X}$) :

$$H_2 = \frac{\bar{X} - x_2}{s(x)} \quad \text{nebo} \quad H_2 = \frac{x_n - \bar{X}}{s(x)}$$

kde: H_2, H_n – normované hodnoty

$s(x)$ - je výběrová směrodatná odchylka

\bar{x} - je střední hodnota

x_i - je naměřená hodnota

n - je rozsah výběru

- 3) Z tabulek se určí mezní hodnota H pro určenou pravděpodobnost p a počet měření n . Mezní hodnota pro pravděpodobnost $p = 95\%$ a pro počet měření $n = 10$ činí $H = 2,18$.

3.5.3 Tabulky a grafy naměřených hodnot

Tabulka 19 Příklad tabulky naměřených hodnot pro mat. 12 050 obrobený 5-zubou frézou, při řezné rychlosti 250m/min a posuvu na zub f_z 0,1mm.

OZNAČENÍ		12050_5_250_0,1						
Parametry		Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rt [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsm[μm]
Příč.	Č.měření							
	1	1,70	8,5	2,02	10,8	4,9	3,8	353,7
	2	2,03	8,5	2,52	40,1	12,0	8,9	363,4
	3	1,53	7,9	1,88	9,3	4,0	3,7	419,0
	4	1,78	7,9	2,08	8,7	4,5	3,4	328,0
	5	1,41	7,9	1,79	8,3	4,6	3,3	299,4
	6	1,43	8,0	3,06	70,6	13,7	11,5	334,5
	7	1,99	8,2	2,31	12,3	5,5	4,5	406,6
	8	2,00	8,4	2,49	11,0	5,2	4,4	483,5
	9	1,85	8,3	2,17	13,1	5,1	4,1	347,9
	10	1,99	8,3	2,33	10,4	5,3	4,1	393,9
Pod.	Č.měření							
	1	1,25	8,5	1,57	10,1	4,7	3,8	590,4
	2	1,47	8,2	1,79	11,5	4,7	3,4	545,9
	3	1,59	8,7	1,9	10,4	4,8	3,8	561,2
	4	1,73	8,0	3,0	97,6	25,8	6,3	287,0
	5	1,87	9,3	2,23	10,4	5,4	3,8	480,7
	6	1,85	9,5	2,24	10,8	5,6	3,8	518,4
	7	1,67	8,8	2,00	10,2	5,0	3,8	397,1
	8	1,73	9,1	2,07	10,6	5,4	3,7	437,0
	9	1,5	9,7	2,09	45,3	9,8	5,9	409,1
	10	1,43	9,1	1,78	27,2	5,8	5,3	423,9

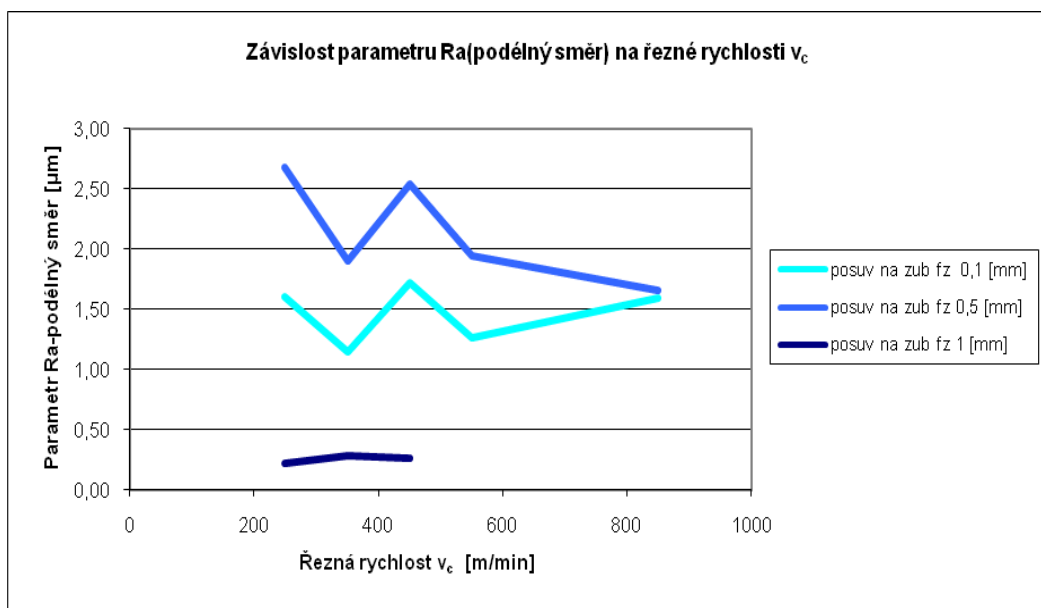
- MATERIÁL 12 050 – obroben 5 břitou brézou

Tabulka 20 Hodnoty parametru drsnosti R_a mat. 12 050 při obrábění 5–břitou frézou

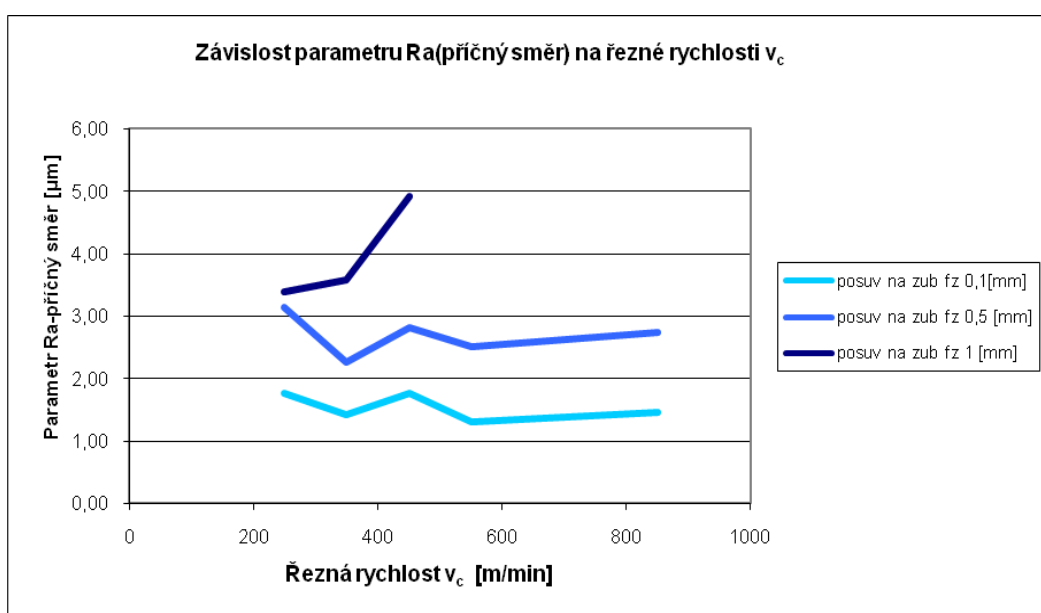
Parametr drsnosti R_a							
vz. č.	v_c	f_z	podélný směr			příčný směr	
			R_a			R_a	
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]	
1	250	0,1	1,61	±	0,17	1,77	± 0,20
2		0,5	2,67	±	0,26	3,15	± 0,22
3		1	2,80	±	0,22	3,40	± 0,38
4		1,5	3,28	±	0,35	4,26	± 0,59
5		2	3,98	±	0,31	3,93	± 3,15
6	350	0,1	1,15	±	0,11	1,42	± 0,22
7		0,5	1,90	±	0,26	2,26	± 0,19
8		1	2,89	±	0,28	3,58	± 0,71
9	450	0,1	1,72	±	0,13	1,77	± 0,13
10		0,5	2,55	±	0,22	2,81	± 0,26
11		1	2,98	±	0,26	4,92	± 0,73
12	550	0,1	1,27	±	0,12	1,30	± 0,25
13		0,5	1,94	±	0,16	2,51	± 0,41
14	850	0,1	1,60	±	0,13	1,45	± 0,25
15		0,5	1,65	±	0,18	2,74	± 0,25

Tabulka 21 Hodnoty parametru drsnosti R_z mat. 12 050 při obrábění 5–břitou frézou

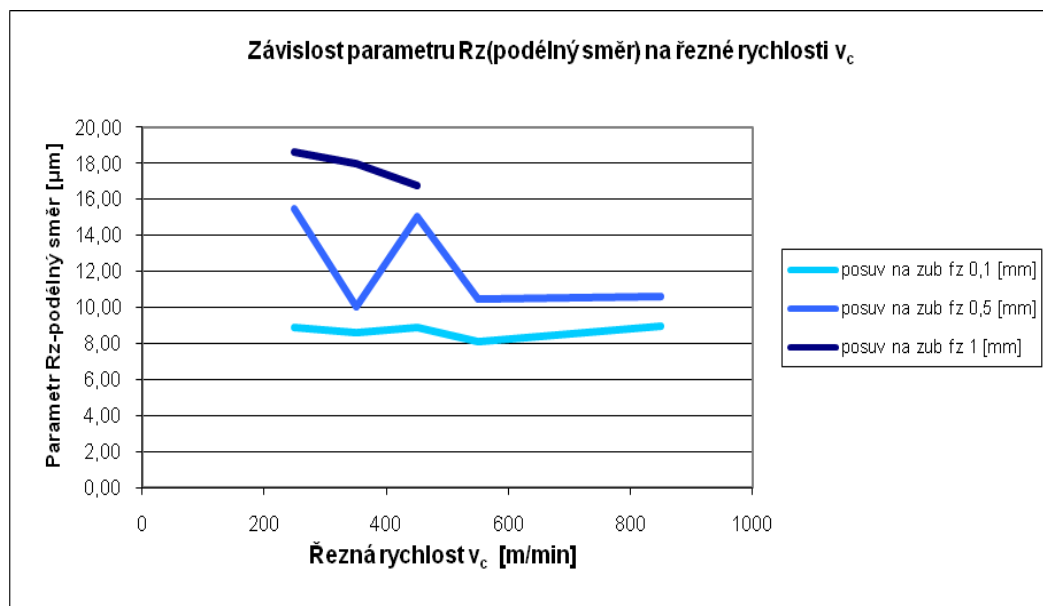
Parametr drsnosti R_z							
vz. č.	v_c	f_z	podélný směr			příčný směr	
			R_z			R_z	
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]	
1	250	0,1	8,89	±	0,71	8,22	± 0,58
2		0,5	15,46	±	2,04	19,02	± 2,16
3		1	15,36	±	1,18	18,27	± 1,50
4		1,5	18,63	±	1,98	22,08	± 2,71
5		2	22,58	±	2,28	21,21	± 3,15
6	350	0,1	8,59	±	0,67	8,87	± 0,99
7		0,5	10,02	±	1,38	12,35	± 1,31
8		1	17,99	±	2,99	20,97	± 3,53
9	450	0,1	8,89	±	0,69	9,90	± 1,07
10		0,5	15,02	±	1,33	17,11	± 1,65
11		1	16,76	±	2,19	23,69	± 2,82
12	550	0,1	8,09	±	0,95	7,58	± 0,90
13		0,5	10,46	±	0,83	14,75	± 2,28
14	850	0,1	8,99	±	1,54	8,92	± 0,75
15		0,5	10,57	±	1,71	16,30	± 1,56



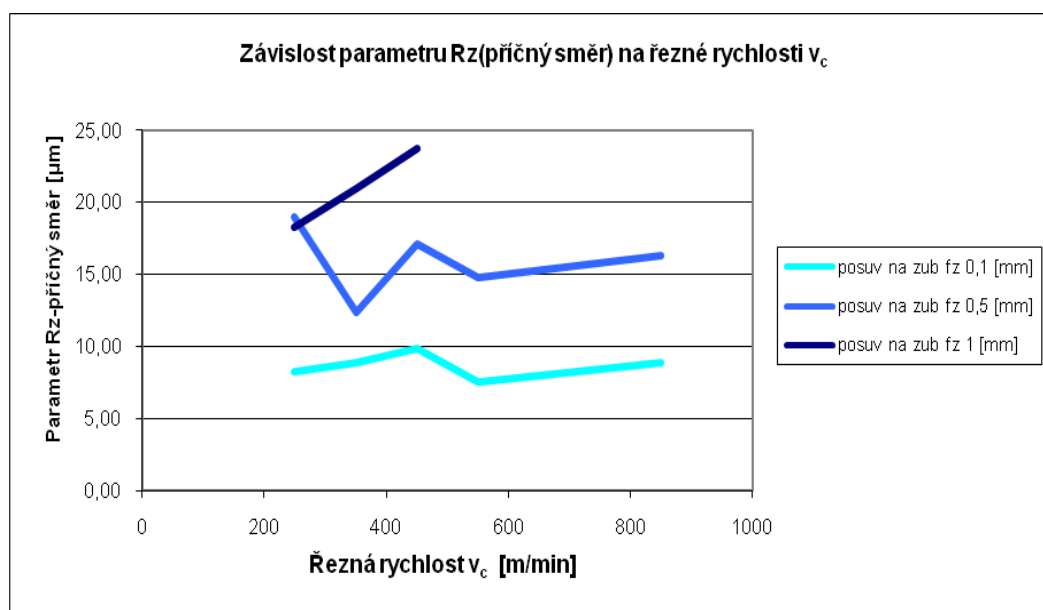
Graf 1 Závislost drsnosti Ra(podélné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou



Graf 2 Závislost drsnosti Ra(příčné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou



Graf 3 Závislost drsnosti Rz(podélné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou



Graf 4 Závislost drsnosti Rz(příčné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou

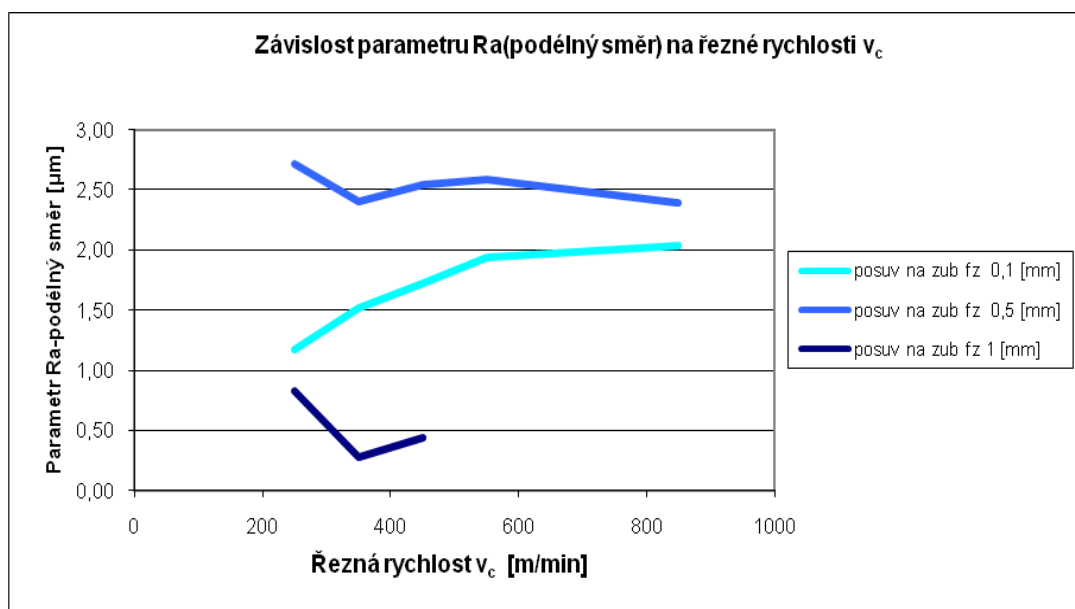
- MATERIÁL 12 050 – obroben 6 břitou brézou

Tabulka 22 Hodnoty parametru drsnosti R_a mat. 12 050 při obrábění 6–břitou frézou

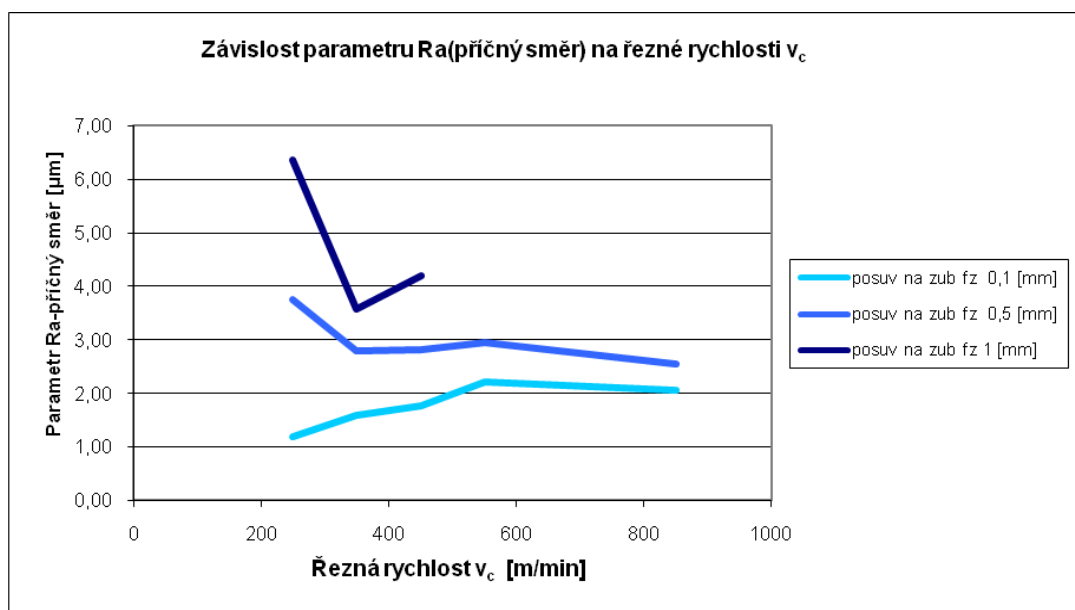
Parametr drsnosti R_a								
vz. č.	V_c	f_z	podélný směr			příčný směr		
			R_a			R_a		
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]		
1	250	0,1	1,17	±	0,09	1,19	±	0,14
2		0,5	2,72	±	0,26	3,76	±	0,49
3		1	4,99	±	0,83	6,36	±	1,09
4		1,5	7,10	±	0,65	6,37	±	0,80
5		2	6,67	±	0,65	4,49	±	6,35
6	350	0,1	1,52	±	0,13	1,59	±	0,14
7		0,5	2,41	±	0,19	2,78	±	0,26
8		1	2,89	±	0,28	3,58	±	0,71
9	450	0,1	1,72	±	0,13	1,77	±	0,13
10		0,5	2,55	±	0,22	2,81	±	0,26
11		1	3,66	±	0,44	4,21	±	0,52
12	550	0,1	1,94	±	0,14	2,22	±	0,24
13		0,5	2,59	±	0,20	2,94	±	0,40
14	850	0,1	2,04	±	0,15	2,06	±	0,20
15		0,5	2,39	±	2,39	2,55	±	0,25

Tabulka 23 Hodnoty parametru drsnosti R_z mat. 12 050 při obrábění 6–břitou frézou

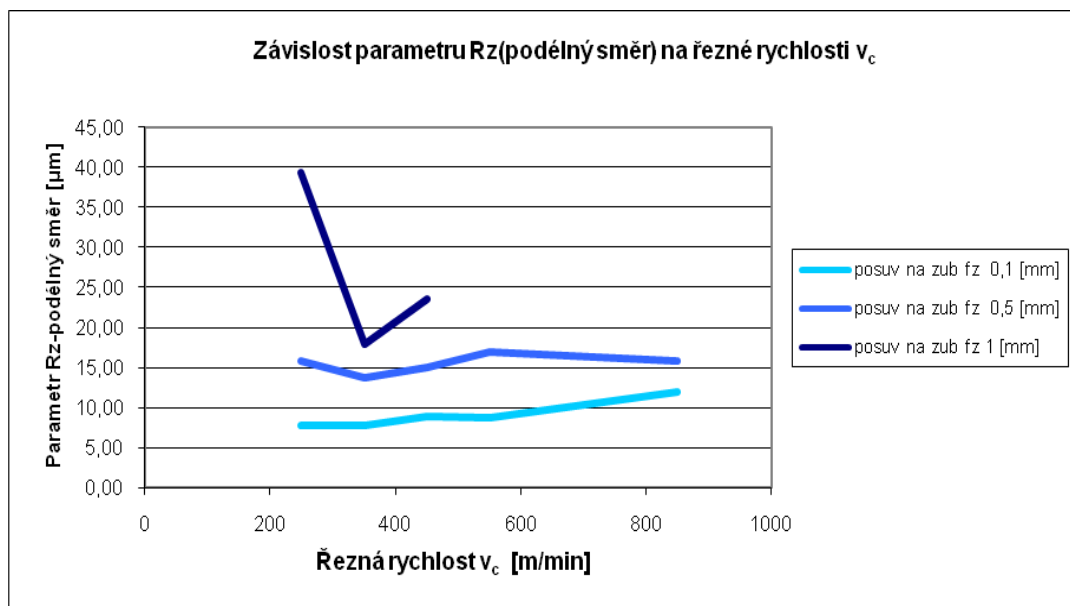
Parametr drsnosti R_z								
vz. č.	V_c	f_z	podélný směr			příčný směr		
			R_z			R_z		
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]		
1	250	0,1	7,73	±	0,86	6,59	±	0,83
2		0,5	15,87	±	1,47	20,75	±	2,41
3		1	26,46	±	3,34	31,23	±	5,07
4		1,5	39,27	±	3,75	32,28	±	4,27
5		2	36,08	±	3,34	28,69	±	6,35
6	350	0,1	7,84	±	0,56	8,43	±	0,92
7		0,5	13,79	±	1,06	17,90	±	1,46
8		1	17,99	±	2,99	20,97	±	3,53
9	450	0,1	8,89	±	0,69	9,90	±	1,07
10		0,5	15,02	±	1,33	17,11	±	1,65
11		1	23,53	±	2,61	23,38	±	2,56
12	550	0,1	8,77	±	0,65	9,98	±	0,91
13		0,5	16,87	±	1,74	18,33	±	2,84
14	850	0,1	11,94	±	1,82	10,04	±	1,05
15		0,5	15,75	±	2,00	16,33	±	2,01



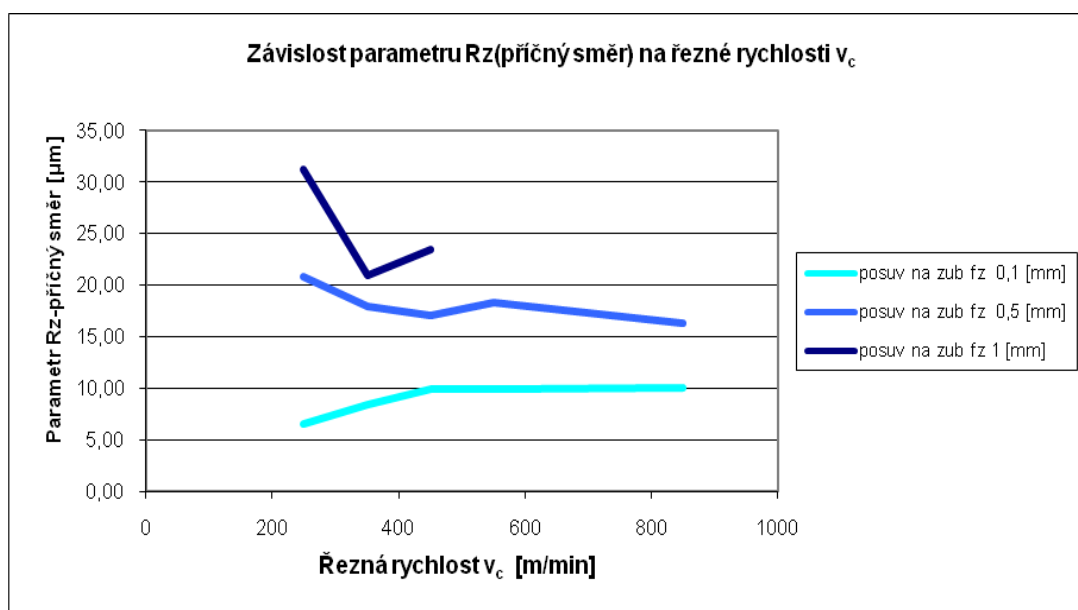
Graf 5 Závislost drsnosti Ra(podélné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou



Graf 6 Závislost drsnosti Ra(příčné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou



Graf 7 Závislost drsnosti Rz(podélné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou



Graf 8 Závislost drsnosti Rz(příčné) mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou

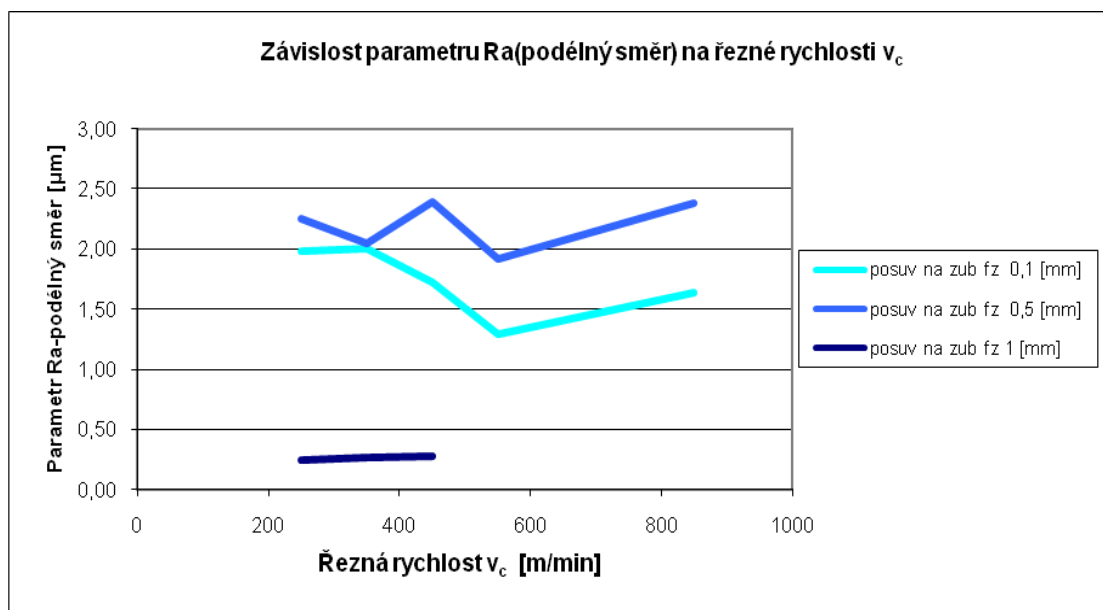
- MATERIÁL 19 522 – obroben 5 břitou brézou

Tabulka 24 Hodnoty parametru drsnosti R_a materiálu 19 522 při obrábění 5–břitou frézou

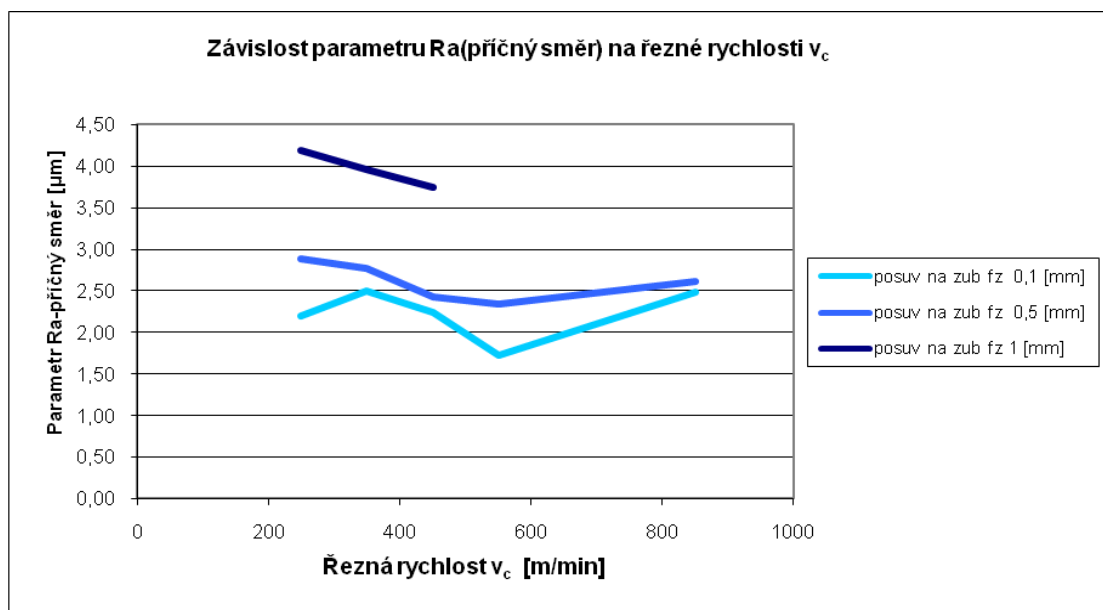
Parametr drsnosti R_a								
vz. č.	V_c	f_z	podélný směr			příčný směr		
			R_a			R_a		
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]		
1	250	0,1	1,98	±	0,16	2,20	±	0,42
2		0,5	2,25	±	0,19	2,88	±	0,45
3		1	2,84	±	0,25	4,19	±	0,42
4		1,5	3,98	±	0,40	6,18	±	0,66
5		2	4,77	±	0,45	6,17	±	3,24
6	350	0,1	2,00	±	0,22	2,50	±	0,38
7		0,5	2,05	±	0,22	2,78	±	0,26
8		1	2,77	±	0,26	3,97	±	0,60
9	450	0,1	1,58	±	0,19	2,24	±	0,21
10		0,5	2,40	±	0,24	2,43	±	0,21
11		1	2,67	±	0,28	3,74	±	0,29
12	550	0,1	1,29	±	0,10	1,73	±	0,33
13		0,5	1,92	±	0,15	2,35	±	0,20
14	850	0,1	1,64	±	0,15	2,49	±	0,23
15		0,5	2,39	±	0,30	2,61	±	0,28

Tabulka 25 Hodnoty parametru drsnosti R_z mat. 19 522 při obrábění 5–břitou frézou

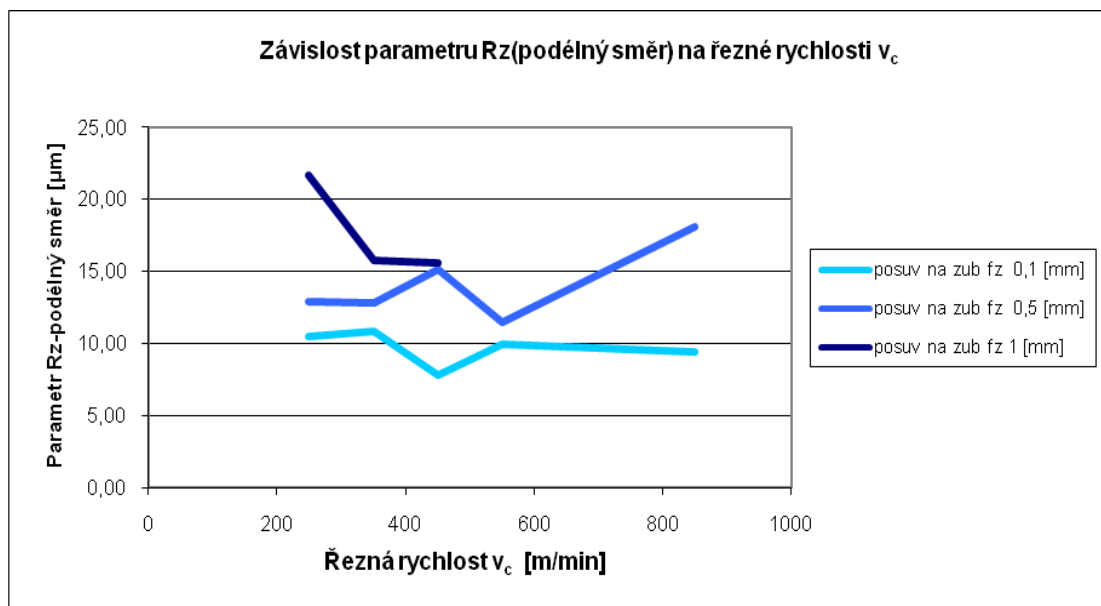
Parametr drsnosti R_z								
vz. č.	V_c	f_z	podélný směr			příčný směr		
			R_z			R_z		
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]		
1	250	0,1	10,48	±	0,79	11,00	±	1,58
2		0,5	12,94	±	1,00	16,25	±	2,38
3		1	16,42	±	1,47	22,08	±	2,03
4		1,5	21,66	±	2,74	30,17	±	2,90
5		2	26,19	±	3,54	29,74	±	3,24
6	350	0,1	10,84	±	1,24	11,64	±	1,18
7		0,5	12,83	±	1,74	15,82	±	1,43
8		1	15,77	±	1,65	20,88	±	2,25
9	450	0,1	7,82	±	0,89	11,35	±	1,53
10		0,5	15,11	±	2,22	14,83	±	1,23
11		1	15,61	±	1,77	20,04	±	1,66
12	550	0,1	9,92	±	2,82	8,62	±	1,63
13		0,5	11,47	±	0,96	13,97	±	1,23
14	850	0,1	9,44	±	0,74	11,66	±	0,98
15		0,5	18,05	±	2,51	17,39	±	1,60



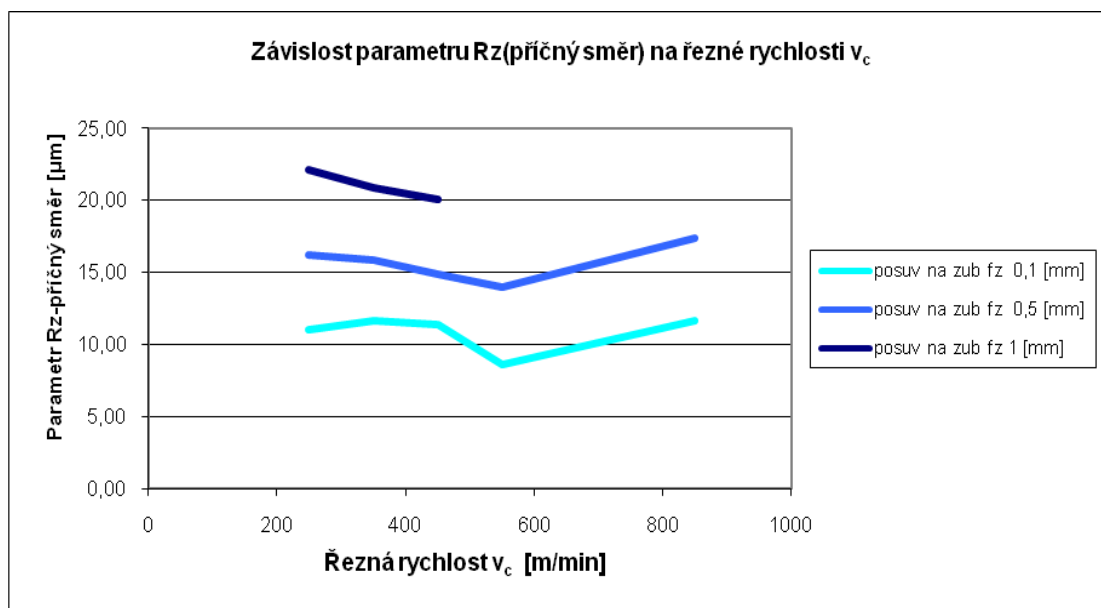
Graf 9 Závislost drsnosti Ra(podélné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou



Graf 10 Závislost drsnosti Ra(příčné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou



Graf 11 Závislost drsnosti Rz(podélné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou



Graf 12 Závislost drsnosti Rz(příčné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou

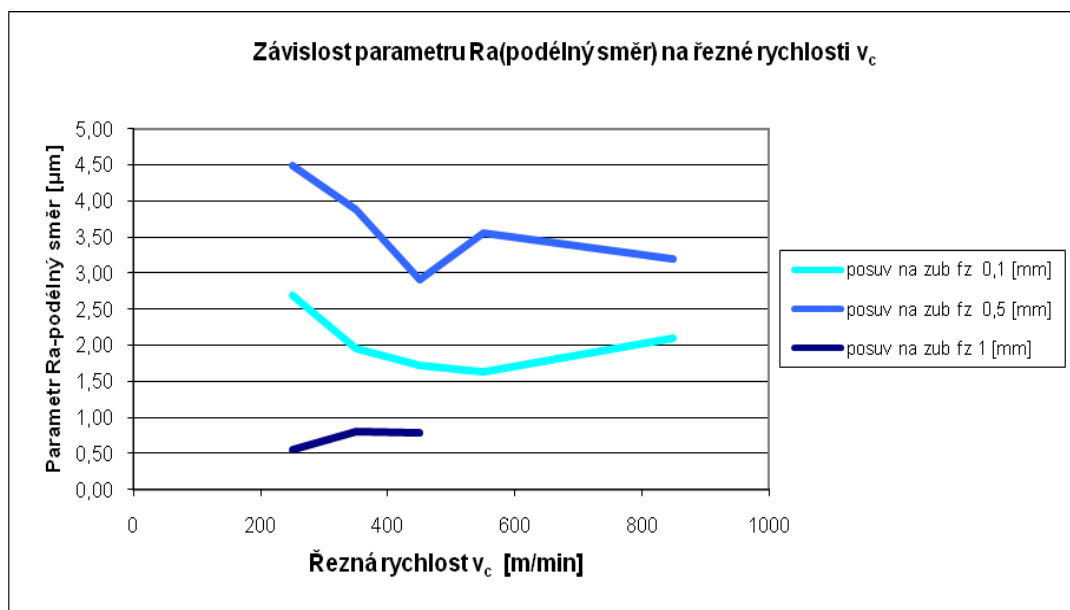
- MATERIÁL 19 522 – obroben 6 břitou brézou

Tabulka 26 Hodnoty parametru drsnosti R_a materiálu 19 522 při obrábění 6–břitou frézou

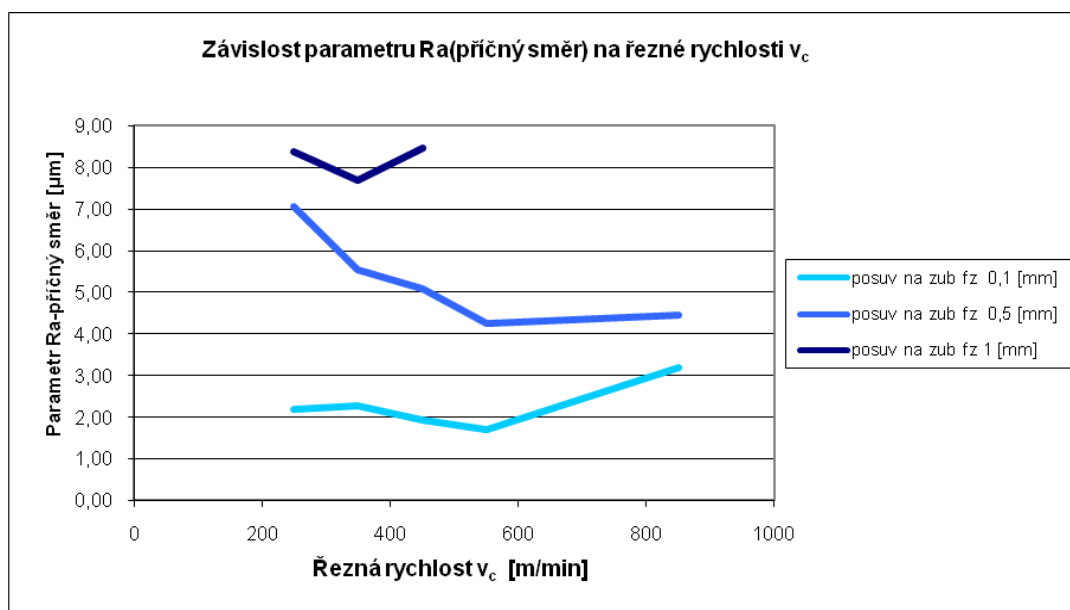
Parametr drsnosti R_a								
vz. č.	V_c	f_z	podélný směr			příčný směr		
			R_a			R_a		
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]		
1	250	0,1	2,69	±	0,24	2,18	±	0,31
2		0,5	4,49	±	0,40	7,05	±	0,60
3		1	6,04	±	0,56	8,39	±	0,63
4		1,5	7,54	±	1,39	15,91	±	2,97
5		2	9,13	±	0,85	12,79	±	6,91
6	350	0,1	1,96	±	0,24	2,27	±	0,48
7		0,5	3,89	±	0,40	5,55	±	0,47
8		1	5,62	±	0,81	7,70	±	0,63
9	450	0,1	1,77	±	0,25	1,94	±	0,35
10		0,5	2,92	±	0,29	5,08	±	0,79
11		1	6,12	±	0,79	8,47	±	0,69
12	550	0,1	1,62	±	0,17	1,69	±	0,27
13		0,5	3,55	±	0,45	4,26	±	0,47
14	850	0,1	2,10	±	0,26	3,18	±	0,39
15		0,5	3,20	±	0,27	4,46	±	0,44

Tabulka 27 Hodnoty parametru drsnosti R_z materiálu 19 522 při obrábění 6–břitou frézou

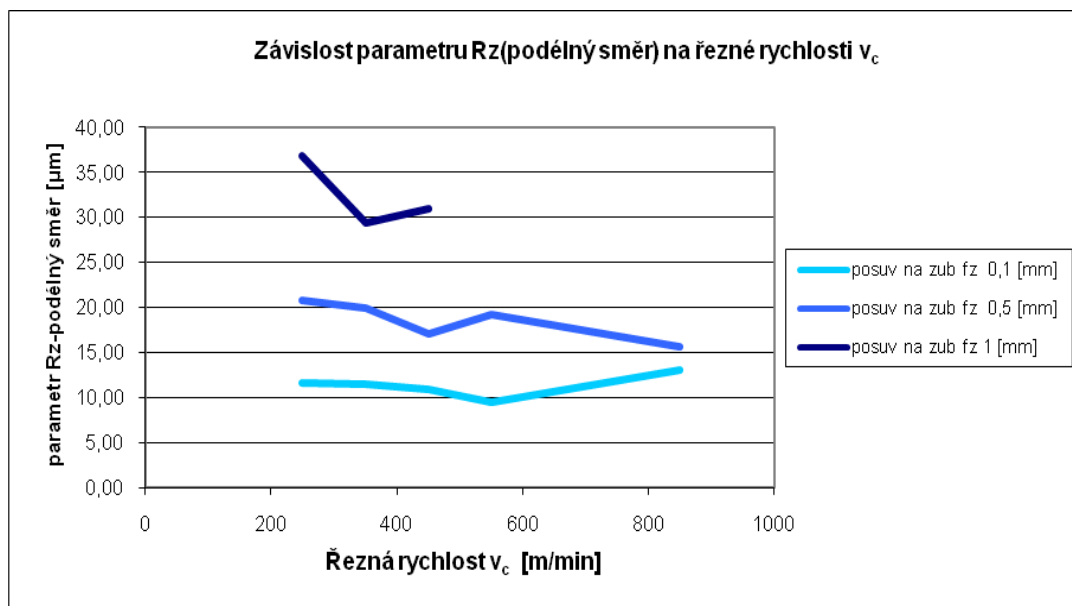
Parametr drsnosti R_z								
vz. č.	V_c	f_z	podélný směr			příčný směr		
			R_z			R_z		
-	[m/min]	[mm]	[μm]			[μm]		
1	250	0,1	11,58	±	1,01	10,75	±	2,04
2		0,5	20,78	±	1,76	34,90	±	4,07
3		1	30,43	±	3,05	43,42	±	3,63
4		1,5	36,85	±	6,34	69,45	±	9,07
5		2	43,30	±	4,10	61,87	±	6,91
6	350	0,1	11,49	±	2,25	11,51	±	2,42
7		0,5	19,97	±	1,76	27,17	±	2,35
8		1	29,40	±	4,20	36,79	±	3,07
9	450	0,1	10,87	±	1,78	11,44	±	1,74
10		0,5	17,05	±	1,84	28,35	±	3,61
11		1	30,95	±	3,12	40,00	±	3,47
12	550	0,1	9,44	±	1,15	10,98	±	1,57
13		0,5	19,21	±	2,01	24,86	±	2,74
14	850	0,1	13,04	±	1,76	17,20	±	1,97
15		0,5	15,68	±	1,26	22,91	±	2,00



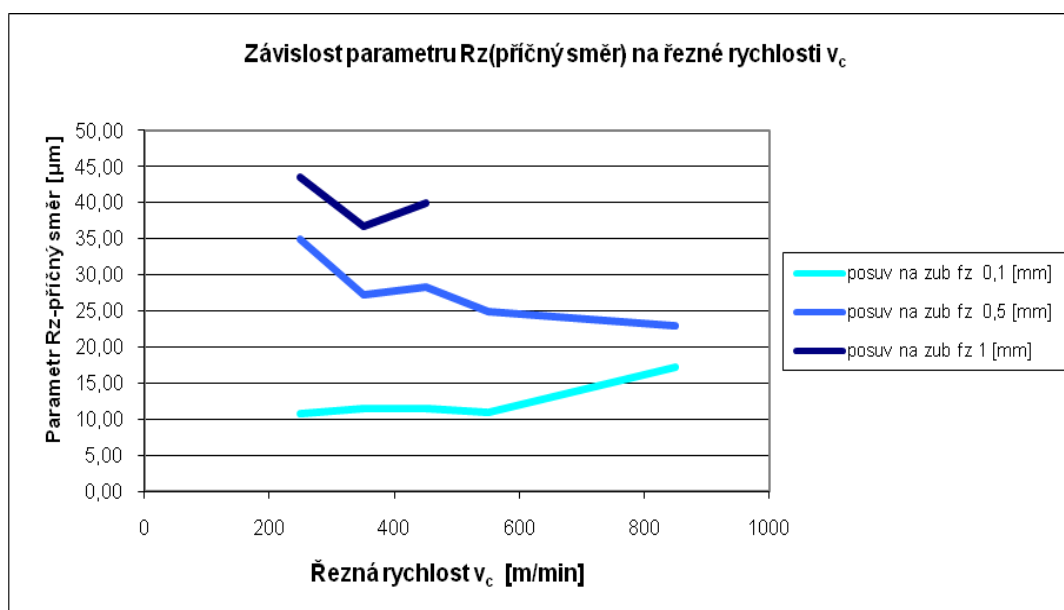
Graf 13 Závislost drsnosti Ra(podélné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou



Graf 14 Závislost drsnosti Ra(příčné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou



Graf 15 Závislost drsnosti Rz(podélné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou



Graf 16 Závislost drsnosti Rz(příčné) mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou

Metoda plánovaného experimentu při pozorování vybraných parametrů procesu

Pokud je sestavení modelu řezného procesu velmi náročné a není dostatek informací k vyhodnocení, můžeme využít experimentálně – statistické metody. Pomocí této metody je možné dostat informace o působení parametru řezného procesu. Vliv a velikost řezných parametrů určujeme právě podle této metody. V plánování experimentu sledujeme jeden výstupní parametr při změně více vstupních faktorů. Nejvýznamnější metody v třískovém obrábění, které ovlivňují výstupní parametr, jsou řezné podmínky (hloubka řezu, rychlost posuvu, řezná rychlost, geometrie nástroje, mechanické vlastnosti obráběného materiálu, stroj atd.).

Parametry drsnosti jsme získali měřením zkoumané plochy na deseti místech ve dvou na sebe kolmých směrech. Poté byly z těchto hodnot vypočteny průměrné hodnoty a jejich nejistoty měření. Soubor zkoušek je stanoven z kombinace hodnot, které jsou mezní v intervalu změn řezných podmínek. Počet kombinací je 2^n , kde číslice 2 znamená počet mezí řezných podmínek a písmeno n se rovná počtu proměnných řezných podmínek.[29]

V tomto experimentu se jedná o kombinaci tří řezných podmínek a to:

Hloubky řezu a_p , řezná rychlost v_c a posuvu na zub f_z – tzn.: $2^3=8$ kombinací řezných podmínek. Hloubka řezu je v tomto experimentu konstantní, tzn. že kombinace se rovná $2^2=4$. Stanoví se maximální a minimální hodnota pro každou řeznou podmínku. Pro minimální hodnotu je faktor $x = -1$ pro maximální $x = +1$. Faktor z označuje sledovanou hodnotu při určité kombinaci řezných podmínek. Faktor sestavíme dle tabulky 28, viz níže.

Tabulka 28 faktorová matice pro dvě proměnné

Číslo kombinace	x_1	x_2	x_1	x_2	z
1	v_{cmin}	f_{zmin}	-1	-1	z_1
2	v_{cmin}	f_{zmax}	-1	1	z_2
3	v_{cmax}	f_{zmax}	1	1	z_3
4	v_{cmax}	f_{zmin}	1	-1	z_4

Výsledkem jsou strukturální rovnice s konstantními exponenty a s proměnnými řeznými podmínkami. Výpočet byl proveden dle metody nejmenších čtverců. Na základě této metody byly řešeny rovnice pro závislosti parametrů R_a a R_z na v_c (řezné rychlosti) a f_z (posuvu na zub). Příkladem dávám strukturální rovnici pro materiál 19 522 – obroben pětizubou frézou.

$$R_{ax} = 0,412 \cdot z_f^{-0,181} \cdot v_c^{0,211}$$

$$R_{ay} = 3,253 \cdot z_f^{-0,032} \cdot v_c^{-0,314}$$

$$R_{zx} = 4,251 \cdot z_f^{-0,251} \cdot v_c^{0,131}$$

$$R_{zy} = 48,986 \cdot z_f^{-0,154} \cdot v_c^{-0,389}$$

Tyto rovnice potvrzují klesající charakter závislosti drsnosti povrchu na řezných parametrech.

Zhodnocení dosažených výsledků

Předpokladem vlivu zvyšujících se řezných rychlostí a snižujícího se posuvu na zub je klesající tendence měřených parametrů drsnosti (R_a a R_z). Tímto způsobem by měla být zajištěna vyšší kvalita obrobeného povrchu součásti.

Tento předpoklad byl potvrzen hlavně za použití 6-ti zubé frézy u obou materiálů (12 050 i 19 522).

Avšak ne všechny výsledky měření a vyhodnocování potvrdily tento předpoklad. Můžeme se tedy domnívat, že tyto případy byly zatíženy chybou měření způsobenou tuhostí soustavy stroje-nástroje-obrobku, nepřesností a tuhostí upínacího přípravku a dalšími faktory provázejícími celý proces obrábění.

V experimentu jsme se nezabývali opotřebením řezného nástroje. Při obrábění byly použity nové řezné frézy s novými řeznými destičkami. Nové frézy vykazují lepší (nižší) hodnoty drsnosti povrchu. Při delším používání a tím i otupením řezného nástroje drsnost obrobené plochy narůstá. Také je důležité brát v potaz, že drsnost povrchu při sousledném frézování je zpravidla nižší než při nesousledném frézování a naopak drsnost povrchu se zvyšuje při čelním způsobu frézování s porovnáním s valovým způsobem frézování. Vliv směru stop po obrábění nemá jednoznačný význam. Při malé výšce nerovností a třením za sucha nemá směr stop tak značný význam. Při větší výšce nerovností je lepší paralelní směr stop v souladu se směrem pohybu součástky za provozu. Jestliže je výška nerovností vyšší než optimální, dochází k vyššímu opotřebení, mechanickému zaseknutí součásti, skluzu a odřezání vrcholu nerovnosti. Z tohoto vyplývá, že používáním součástky se výška nerovností snižuje a dochází k transformaci výšky nerovnosti na optimální stav výšky nerovnosti. V opačném případě, kdy máme menší výšku nerovností, než je optimum, dochází k adhéznímu spojení kontaktních vrcholů.

Materiál:

- 12 050-obroben 5-ti zubou frézou: Při nastavení řezných podmínek tohoto případu můžeme vždy sledovat mírný nárůst od použití řezné rychlosti 350m/min a pokles od 450m/min parametrů drsnosti.
- 12 050-obroben 6-ti zubou frézou: V tomto případě se nám vesměs potvrdily naše předpoklady a to ty, že s rostoucí řeznou rychlostí a za použití nižších posuvů na zub mají parametry drsnosti klesající charakter.
- 19 522- obroben 5-ti zubou frézou: U této kombinace použitím materiálu a 5-ti zubé frézy můžeme sice vidět, že při použití větších posuvů na zub jsou parametry drsnosti vyšší, ale s rostoucí řeznou rychlostí tyto parametry neklesají, spíše se pohybují v určitém rozmezí hodnot.
- 19522 – obroben 6-ti zubou frézou: Zde se nám opět potvrdila teorie, že s použitím větších posuvů na zub vzrůstají i parametry drsnosti povrchu a také, že při rostoucí řezné rychlosti tyto parametry klesají.

4. ZÁVĚR

Otázky zvyšování kvality a produktivity je nejdiskutovanější téma. S touto problematikou jde ruku v ruce další důležitá věc, a to, že se používají složitější součástky, jelikož zařízení potřebují integrované součásti s vyšší funkčností. Při výrobě takovýchto součástí rostou požadavky na vzájemnou vazbu rozměrů a přesnější tolerance výroby. Těchto požadavků můžeme dosahovat vhodnou volbou technologie obrábění a s tím spojených adekvátně určených parametrů řezného procesu.

V diplomové práci byl řešen vliv řezných parametrů na kvalitu povrchu - jak se s vzrůstající řeznou rychlostí a zvyšujícím se posuvem na zub, mění parametry drsnosti povrchu.

V úvodu této práce byly popsány kvalitativní ukazatele drsnosti povrchu, hodnocení drsnosti povrchu a funkčnost plochy v závislosti na parametrech drsnosti.

Experimentální část byla realizovaná na půdě katedry obrábění a montáže VŠB – TU Ostrava. Ve spolupráci s Ing. et. Ing. Janou Petřů PhD., které bych chtěla poděkovat za aktivní činnost při měření a vyhodnocování naměřených dat.

Výsledky experimentu částečně potvrdily předpokládaný pozitivní vliv zvyšující se řezné rychlosti a zároveň se snižujícím posuvem na zub.

5. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha: STNL- nakladatelství technické literatury, 1989. 340 s.
- [2] Pecháček, M., *Hodnocení kvality povrchu při řezání u technologie AWJ a WJM*, VUT Brno. 2010, 98s., vedoucí diplomové práce Ing. Slaný, M.
- [4] BILÍK, O. *Obrábění II*, 2. Díl. Ostrava : VŠB-TU Ostrava. 2001, II. vydání. ISBN 80-7078-944-1.
- [3] Kolektiv autorů, *Měření drsnosti povrchu*, Dům techniky ČSVTS České Budějovice. 1981. ISBN 54-28.03-57/419/81
- [5] KOČMAN,K.-BUMBÁLEK,B. a kol.*Typologie povrchu ploch dokončených vysoce přesnými metodami obrábění*. VZ ÚST-FSI, VUT Brno. 2002,
- [6] FOREJT, M, PIŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9., 223 s.
- [7] *Vliv dokončovacích metod obrábění na jakost výrobku*. Seminář - Kongresové centrum Brno, 2001
- [8] TRIBOLOGIE [online]. 2005 [cit. 2012-04-01]. Dostupný z WWW:<http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf
- [9] Technické informace [online]. 2002-2005 [cit. 2012-04-01]. Dostupný z WWW: <http://www.hommelwerke.cz/cz/techinfo_01.htm>.
- [10] GUZANOVÁ, A. *Transfer inovácií : Fraktálná dimenzia - perspektíva v hodnotení povrchov* [online]. 2008 [cit. 2012-04-08]. Slovenština. Dostupný z WWW: <<http://web.tuke.sk/sjf-icav/stranky/transfer.htm>>.
- [11] ČSN EN ISO 12085 *Geometrické požadavky na výrobky(GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Parametry metody motíř*

- [12] *Surface Texture Contour Measuring Instruments : Explanation of Surface Characteristics Standards* [online]. 2007 [cit. 2012-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.accretech.jp/english/pdf>>.

- [13] WHITEHOUSE, D. *Handbook of surface metrology*. Publishing for Taylor-Hobson Ltd, 1994. 988 s. ISBN 07503-0039-6.

- [14] WHITEHOUSE, D.J. *Surfaces-a link between manufacture and function. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 1978, no. 192, s.178-188.

- [15] NOVÁK, Zdeněk. *Zvyšování kvality hodnocení struktury. MM Spektrum* [online]. 2004, č. 12 [cit. 2012-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury>>.

- [16] *Těsnění přímočarých pohybů hydraulika* [online]. 2008 [cit. 2012-04-20]. Čeština, Dostupný z WWW: <http://www.tss.trelleborg.com/com/www/media/downloads/catalogs/rod_cz.pdf>.

- [17] ČSN EN ISO 4287:1997 *Geometrické požadavky na výrobky Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Český normalizační institut, 1999. 22 s.

- [18] KOLÁŘ, D. *Korelace struktury brousícího kotouče a jakosti broušené plochy*. Univerzita Tomáše bati ve Zlíně, 2010, 119 s.

- [19] TICHÁ, Š.: *Strojírenská metrologie*. Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. S.112.ISBN 80-248-0671-1.

- [20] TYKAL, M.: *Normalizace struktury povrchu, současný stav a trendy vývoje*. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z WWW: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO>.

- [21] Hrbáček, P.: *Problematika bezkontaktního měření drsnosti pomocí konfokálního mikroskopu* [cit. 2012-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://ateam.zcu.cz/download/drsnost.pdf>>.

- [22] TYKAL,M.: *Příspěvek k hodnocení drsnosti povrchu s ohledem na ověřování měřících přístrojů*. Brno 1972

- [23] TYKAL,M.: *Principy a charakteristiky dotykových profilometrů, volba základních délek pro měření drsnosti povrchu*. České Budějovice, ČSVTS 1981

- [24] HURCO, *Obráběcí stroje*, [cit. 2012-04-25].
Dostupné z WWW: <<http://www.obrabeci-stroje-hurco.cz/vmx-30-t>>.

- [25] ISCAR TOOL ADVISOR, *nástroje a břitové destičky*, [cit. 2012-04-27].
Dostupné z WWW: <<http://www.iscar.com>>.

- [26] Mitutoyo Česko s.r.o., Teplice, Česká republika. *Drsnoměry měření jakosti povrchu* [online]. [cit. 2012-05-10].Dostupný z WWW: <http://www.mitutoyoczech.cz/cz/pdf/06_drsnomery.pdf>.

- [27] AICHLER, J. *Systém managementu měření*, VUT- Brno,Fakulta strojního inženýrství, 2009, 56 s., vedoucí diplomové práce Koška, P.

- [28] Tichá, Š. *Strojírenská metrologie. Část 1* - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004 , 104 s., ISBN 80-248-0672-X80-248-0671

- [29] STANČEKOVÁ, D., *Identifikácia orovnavanie novými dia orovnávači*. Žilinská univerzita v Žilině, 1997. s.72.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma znázornění geometrie povrchu (8)	11
Obrázek 2 Základní parametry hodnocení povrchu (9).....	12
Obrázek 3 Drsnost a vlnitost (8).....	12
Obrázek 4 Zařazení metod pro měření textury povrchu	17
Obrázek 5 Zařazení metod a způsobů hodnocení drsnosti povrchu (22).....	18
Obrázek 6 Periodický a aperiodický příklad povrchu (21).....	19
Obrázek 7 Schéma dotykového profilometru (19)	20
Obrázek 8 Schéma indukčního snímače	21
Obrázek 9 Schéma interferenčního mikroskopu (19)	24
Obrázek 10 Materiálový podíl (12)	26
Obrázek 11 Průběh materiálového poměru (16)	26
Obrázek 12 Veličiny nosného podílu (9).....	26
Obrázek 13 Střední aritmetická hodnota drsnosti (9)	27
Obrázek 14 Střední kvadratická hodnota drsnosti (9).....	27
Obrázek 15 Maximální výška profilu (9)	28
Obrázek 16 Abbotova křivka (7).....	28
Obrázek 17 Schéma porovnání dvou povrchů s totožným Rz (10).....	29
Obrázek 18 Parametry motivu(11).....	31
Obrázek 19 Model klínovité nerovnosti(13)	32
Obrázek 20 Rozložení vrcholů (13).....	32
Obrázek 21 Stupně určení hladin (14).....	33
Obrázek 22 Vertikální obráběcí centrum Hucro VMX t30(24).....	35
Obrázek 23 Vzorek ustavený ve stroji Hurco VMX t 30	35
Obrázek 24 Použitá fréza - FF FW D50-22-06-C(25).....	36
Obrázek 25 Použitá břitová destička - FF WOMT 060212 T-M IC908(25).....	37
Obrázek 26 Použitá fréza - FF FW D50-22-05(25).....	38
Obrázek 27 Použité břitové destičky - H600 WXCW 05T312T IC830 (25)	39
Obrázek 28 Měření drsnosti povrchu v příčném a podélném směru.....	42
Obrázek 29 Sada obrobených vzorků pro mat. 19 522 s posuvem na zub f_z a) 0,1 b)0,5 c)1.....	43
Obrázek 30 Způsob ustavení vzorku ve stroji.....	43
Obrázek 31 Profilová metoda měření (27)	45
Obrázek 32 Použitý přístroj pro měření drsnosti povrchu vzorků(26)	46
Obrázek 33 Snímací dotek 12AAC733v (26).....	47
Obrázek 34 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	48
Obrázek 35 Největší výška profilu	48

Obrázek 36 Nejvyšší výška výstupků profilu R_p	49
Obrázek 37 Největší hloubka prohlubně profilu	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Druhy způsobů opracování (16)	13
Tabulka 2 Hodnoty profilometru	21
Tabulka 3 Profily (11)	21
Tabulka 4 Zařazení parametrů drsnosti povrchu (20)	25
Tabulka 5 Označení parametrů profilu podle ISO 4287 (7)	27
Tabulka 6 Označování parametrů křivky poměru materiálu podle ISO13565-2 (7)....	28
Tabulka 7 Označování parametrů pravděpodobnostní (7).....	29
Tabulka 8 Vztah mezi parametry a funkcí povrchu (ČSN EN ISO 12085) (12)	30
Tabulka 9 Rozměry frézy FF FW D-50-22-06-C (25).....	36
Tabulka 10 Technické parametry břitové destičky FF WOMT 060212 T-M IC908 (25)	37
Tabulka 11 Rozměry břitové destičky FF WOMT 060212 T-M IC908(25)	37
Tabulka 12 Rozměry frézy FF FW D-50-22-05 (25)	38
Tabulka 13 Technické parametry břitové destičky H600 WXCUI 05T312T IC830 (25).....	39
Tabulka 14 Rozměry břitové destičky H600 WXCUI 05T312T IC830(25).....	39
Tabulka 15 Tabulka použitých řezných parametrů	42
Tabulka 16 Vliv parametrů povrchu na funkci povrchu (17).....	44
Tabulka 17 Filtry profilu	45
Tabulka 18 technické parametry přístroje MITUTOYO SurfTest SJ-401 (26)	47
Tabulka 19 Příklad tabulky naměřených hodnot pro mat. 12 050 obrobený 5-zubou frézou, při řezné rychlosti 250m/min a posuvu na zub f_z 0,1mm.	52
Tabulka 20 Hodnoty parametru drsnosti R_a mat. 12 050 při obrábění 5–břitou frézou.	53
Tabulka 21 Hodnoty parametru drsnosti R_z mat. 12 050 při obrábění 5–břitou frézou.	53
Tabulka 22 Hodnoty parametru drsnosti R_a mat. 12 050 při obrábění 6–břitou frézou.	56
Tabulka 23 Hodnoty parametru drsnosti R_z mat. 12 050 při obrábění 6–břitou frézou.	56
Tabulka 24 Hodnoty parametru drsnosti R_a materiálu 19 522 při obrábění 5–břitou frézou	59
Tabulka 25 Hodnoty parametru drsnosti R_z mat. 19 522 při obrábění 5–břitou frézou.	59
Tabulka 26 Hodnoty parametru drsnosti R_a materiálu 19 522 při obrábění 6–břitou frézou	62
Tabulka 27 Hodnoty parametru drsnosti R_z materiálu 19 522 při obrábění 6–břitou frézou	62
Tabulka 28 faktorová matice pro dvě proměnné	65

SEZANAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost drsnosti R_a (podélné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	54
Graf 2 Závislost drsnosti R_a (příčné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	54
Graf 3 Závislost drsnosti R_z (podélné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	55
Graf 4 Závislost drsnosti R_z (příčné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	55
Graf 7 Závislost drsnosti R_a (podélné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	57
Graf 8 Závislost drsnosti R_a (příčné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	57
Graf 9 Závislost drsnosti R_z (podélné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	58
Graf 10 Závislost drsnosti R_z (příčné)mat. 12 050 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	58
Graf 11 Závislost drsnosti R_a (podélné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	60
Graf 12 Závislost drsnosti R_a (příčné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	60
Graf 13 Závislost drsnosti R_z (podélné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	61
Graf 14 Závislost drsnosti R_z (příčné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 5-zubou frézou	61
Graf 15 Závislost drsnosti R_a (podélné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	63
Graf 16 Závislost drsnosti R_a (příčné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	63
Graf 17 Závislost drsnosti R_z (podélné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	64
Graf 18 Závislost drsnosti R_z (příčné)mat. 19 522 na řezné rychlosti v_c při obrábění 6-zubou frézou	64